

Н. В. Караєва, С. В. Войтко, Л. В. Сорокіна

Ризик-менеджмент сталого розвитку енергетики

інформаційна підтримка
прийняття рішень

Навчальний посібник



Київ - 2013

Караєва Н. В., Войтко С. В., Сорокіна Л. В.

**Ризик-менеджмент
сталого розвитку енергетики:
інформаційна підтримка
прийняття рішень**

навчальний посібник



Посібник видається за фінансової
підтримки Tempus-проекту IEMAST



2013

УДК 620.9:005.334](075)

ББК 65.304.14-2я7

К21

Рекомендовано до друку Методичною радою Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (протокол № 4 від 20 грудня 2012 р.)

Рецензенти:

М. А. Міненко – доктор економічних наук, професор кафедри менеджменту Київського національного торговельно-економічного університету;

О. В. Прокопенко – доктор економічних наук, професор, декан факультету економіки та менеджменту, завідувач кафедри економічної теорії Сумського державного університету;

І. К. Чукаєва – доктор економічних наук, старший науковий співробітник відділу розвитку виробничої інфраструктури ДУ «Інститут економіки та прогнозування» НАН України.

Караєва Н. В., Войтко С. В., Сорокіна Л. В.

К21 Ризик-менеджмент сталого розвитку енергетики: інформаційна підтримка прийняття рішень : навчальний посібник / Н. В. Караєва, С. В. Войтко, Л. В. Сорокіна. — К. : Альфа Реклама, 2013. — 308 с.

ISBN 978-966-28477-98-6

Досліджено теоретичні засади ризик-менеджменту в задачах енергетики. Розкрито методологію управління ризиками суб'єктів енергетичного ринку на основі теорії ігор. Приведені методи аналізу й оцінювання рівня господарських ризиків на основі методів експертних оцінок, оцінювання вартості екологічного ризику та алгоритм розрахунку граничних величин показників господарського ризику. Запропоновано підхід до моделювання господарських ризиків енергопідприємств на основі нечіткої логіки та за допомогою гібридної нейро-нечіткої мережі. Описано інформаційно-комунікаційне забезпечення процесу управління ризиками та підхід до динамічного моделювання сталого розвитку.

УДК 620.9:005.334](075)

ББК 65.304.14-2я7

© Н. В. Караєва, С. В. Войтко,
Л. В. Сорокіна, 2013

© Альфа Реклама, 2013

ISBN 978-966-28477-98-6

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНА ОСНОВА РИЗИК-МЕНЕДЖМЕНТУ В ЗАДАЧАХ ЕНЕРГЕТИКИ.....	9
1.1 Сутність ризику як економічної категорії	9
1.2 Загрози та ризики функціонування суб'єктів енергоринку.....	15
1.3 Класифікації ризиків суб'єктів енергетичного ринку: методична основа побудови	23
1.4 Міжнародна практика класифікації складових господарського ризиків.....	36
1.5 Методична основа побудови «дерева цілей» ризик-менеджменту	45
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ СУБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО РИНКУ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ІГОР.....	59
2.1 Основні принципи та етапи управління ризиком	59
2.2 Аналіз методів управління ризиком	61
2.3 Основні положення теорії ігор та класифікатор інформаційних ситуацій	72
2.4 Критерії прийняття рішень в умовах невизначеності	76
2.5 Ігрові моделі знаходження оптимальних змішаних стратегій для парної гри з нульовою сумою.....	81
2.6 Багатокритеріальний підхід до прийняття рішень на основі теорії корисності.....	89
2.7 Методична основа розв'язування задачі прийняття багатоцільових рішень (БЦР).....	94
РОЗДІЛ 3 СИСТЕМА МЕТОДІВ АНАЛІЗУ Й ОЦІНЮВАННЯ ГОСПОДАРСЬКИХ РИЗИКІВ	105
3.1 Аналіз економіко-математичних методів оцінки господарських ризиків.....	105
3.2 Оцінювання ймовірностей втрат на основі методів експертних оцінок.....	118

3.3 Методи оцінювання вартості екологічного ризику як міри збитку	139
3.4 Алгоритм розрахунку граничних величин показників господарського ризику	148
РОЗДІЛ 4 МОДЕЛЮВАННЯ ГОСПОДАРСЬКИХ РИЗИКІВ	
ЕНЕРГОПІДПРИЄМСТВ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ.....	153
4.1 Основні положення теорії нечітких множин.....	153
4.2 Оцінка виробничо-технічного ризику на основі нечіткої системи Мамдані-Ларсена	170
4.3 Програмна реалізація алгоритму нечіткого висновку Мамдані-Ларсена в середовищі MATLAB	192
4.4 Алгоритм Сугено як інструмент ризик-менеджменту енергопідприємств.....	208
4.5 Оцінювання фінансових ризиків енергопідприємств за допомогою гібридної нейро-нечіткої мережі	221
РОЗДІЛ 5 ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	
ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ	247
5.1 Інформаційний ризик і безпека суб'єктів підприємництва	247
5.2 Підхід до аналізу рівня ризику на основі експертної оцінки окремих складових проекту	253
5.3 Прогнозування рівня ризику реалізації підприємницьких проектів	275
5.4 Трьохвимірна модель визначення стану інформаційно- комунікаційного забезпечення підприємства	282
5.5 Підхід до динамічного моделювання сталого розвитку	295
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	302

ВСТУП

Прискорення процесів глобалізації світової економіки, лібералізації та інтеграції енергетичних ринків роблять особливо важливими дослідження у напрямку формування і впровадження механізму забезпечення енергетичної безпеки держави та глобального сталого розвитку (СР) енергетичної сфери.

Нейтралізація сучасних загроз й ризиків глобальної енергетичної безпеки та забезпечення сталого розвитку потребує впровадження узгодженої енергетичної політики з боку всіх суб'єктів світового енергетичного ринку, яка б відповідала новим світовим реаліям. На цю необхідність неодноразово вказували економічні кризи 1914 р., 1920 – 1922 р., 1929 – 1933 р., 1957 – 1958 р., 1973 р., 1987 р., 1994-995 р., 1997 р., 1998 р., 2000 р., 2008р. та енергетичні кризи 1973 р., 1979 р., 1990 р., 2000 р., 2004 р., 2005 р., 2007 р., 2008 р., 2009 р. Саме енергетична криза 1973 р. не лише стала каталізатором процесу реформування енергетичного сектору майже всіх розвинутих країн та їхнього переходу на енергозберігаючий шлях економічного розвитку, а й спричинила перегляд поняття «безпеки» й «ризик», надала їм економічного змісту та призвела до підвищення значущості фінансово-економічного ризик-менеджменту суб'єктів господарювання з огляду на прийняття та реалізацію управлінських рішень. Серйозним підґрунтям розвитку ризик-менеджменту у механізмі забезпеченні сталого розвитку стала низка гучних технологічних катастроф у 70-х – 80-х роках (Совезо в Італії, Бхопал в Індії, Три-Майл Айленд в США та Чорнобильська катастрофа в Україні).

Сьогодні чинниками, які сприяють підвищенню ролі ризик-менеджменту, є глобалізація фінансових ринків, зростання рівня міжнародної конкуренції, збільшення обсягів ринків і зростання інтенсивності дефолтів. Саме тому ризик-менеджмент в промислово

розвинутих країнах охоплює всі сторони господарської діяльності і виступає як стратегічний інструмент оптимізації використання ресурсів з врахуванням ризику, причому вже не лише у фінансових інститутах, але і у великих нефінансових корпораціях з інтенсивними грошовими потоками. Наприклад, у 2009 р. Радою Міністрів з питань економіки і фінансів була підтримана пропозиція Єврокомісії щодо створення Європейського Бюро з системних ризиків.

До основних завдань Бюро входили: оцінка й аналіз інформації; моніторинг потенційних ризиків для підвищення фінансової та економічної стабільності Європи; визначення ризиків та оцінювання пріоритетності реагування на них; попередження про виникнення нових викликів, критичних ризиків і загроз; надання рекомендацій передусім у сфері законодавства щодо зменшення системних ризиків і підвищення загального рівня безпеки.

В Україні енергетичний комплекс вирішальним чином визначає економічний потенціал держави, його рівень конкурентоспроможності на світових ринках. Сьогодні розвиток енергетичної системи зазнає радикальної трансформації від централізованого державного планування до нової парадигми багатостороннього процесу обґрунтування рішень. За даних умов у процес аналізу та прийняття управлінських рішень залучаються багато учасників (суб'єктів відносин) з різними інтересами. Саме конфлікт інтересів різних груп суб'єктів енергетичного ринку (енергетичні компанії, споживачі, інвестори, громадські організації, державні та регіональні органи влади) став впливовим джерелом виникнення якісно нових екологічних й фінансово-економічних загроз та ризиків у сучасних умовах розвитку енергетики з використанням положень концепції сталого розвитку.

Проблема ризиків пов'язана із подальшою зміною організаційної структури галузі й суб'єктів її відносин. Тому перехід до ринкових відносин в умовах глобалізації по-новому ставить проблему критеріїв оптимальності прийнятих рішень. Планова економіка використовувала тільки критерій економічної ефективності, і труднощі були лише в його інтерпретації

на різних ієрархічних рівнях. Цей критерій зберігається і в сучасних ринкових умовах для розв'язання загальнонаціональних та регіональних задач. Більшість практичних задач в енергетиці розв'язується за локальними критеріями (для енергокомпаній, інвесторів) чи бюджетної (для державних і регіональних органів влади) ефективності. Тому при розробці стратегії й тактики поведінки на енергетичному ринку суб'єктам відносин необхідний систематичний аналіз ризиків, який передбачає включення управління ризиками в процес прийняття управлінських рішень на всіх часових й ієрархічних рівнях.

Загалом поняття, структура, аналіз ризиків значною мірою залежать від галузевої приналежності, оскільки тут суттєво впливають такі чинники, як: особливості технологічних циклів і циклів реалізації продукції; специфічність активів суб'єктів господарювання; динаміка науково-технічного прогресу в галузі; моделі економічного розвитку; інформаційно-комунікаційне забезпечення тощо. Інструментарій аналізу та керування ризиками останнім часом розширився за рахунок прикладних розробок у сфері штучного інтелекту, що надає можливість покращити результативність управління суб'єктами енергетичного ринку в умовах невизначеності.

Ураховуючи викладене, авторами у навчальному посібнику висвітлено низку проблем формування інформаційно-комунікаційного забезпечення ризик-менеджменту у процесі вирішення проблем сталого розвитку енергетики.

Дослідження окресленої проблеми конкретизується у вирішенні практичних завдань, спрямованих на:

- обґрунтування теоретико-методичної основи ризик-менеджменту в задачах енергетики (*розділ перший*);
- розробку методології управління ризиками суб'єктів енергетичного ринку на основі теорії ігор (*розділ другий*);
- формування системи методів аналізу й оцінювання господарських ризиків (*розділ третій*);

- застосування систем штучного інтелекту в кількісному оцінюванні та керуванні ризиками (*розділ четвертий*);
- використання інформаційно-комунікаційних технологій у процесі підприємницької діяльності та у реалізації управлінських рішень.

Матеріали навчального посібника можуть бути використані при вивченні економіко-організаційних дисциплін фахівцями, діяльність яких пов'язана з індустріальною екологією, економічною кібернетикою, прийняття та реалізацією управлінських рішень на регіональному рівні та на рівні окремого підприємства.

Авторський колектив:

Караєва Н. В., к.е.н., доцент кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів та систем теплоенергетичного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»:

– *розділи 1 - 3;*

Сорокіна Л. В., д.е.н., професор кафедри економіки будівництва Київського національного університету будівництва і архітектури:

– *розділ 4;*

Войтко С. В., д.е.н., професор кафедри міжнародної економіки факультету менеджменту та маркетингу Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»:

– *розділ 5;*

Автори висловлюють глибоку подяку рецензентам навчального посібника за слушні та доброзичливі поради та побажання, що сприяли вдосконаленню рукопису

Розділ 1

Теоретико-методична основа ризик-менеджменту в задачах енергетики

1.1 Сутність ризику як економічної категорії

Поняттям "*ризик*" (*risk*) користуються багато суспільних та природничих наук. Кожна з них має свій предмет, свою спрямованість у дослідженнях ризику та користується власними методами. Зазначене дозволяє виділити економічний, соціальний, психологічний, політичний, медико-біологічний, правовий, природний, техногенний, екологічний та інші аспекти ризику.

Питання дефініції терміну "ризик" та оцінки господарських ризиків знаходяться у полі зору науковців, спеціалістів та практиків і дістали належне відображення в наукових працях багатьох вітчизняних (І. Бузька, В. Вітлинського, В. Гранатурова, С. Ілляшенка, І. Качури, М. Клапківа, Є. Крикавського, О. Мартякової, С. Наконечного, О. Устенка, О. Ястремського та ін.) та зарубіжних (західних – У. Бека, Ф. Найта, Р. Кантільона, Й. Шумпетера, Дж. М. Кейнса, І. Кірцнера та ін.; російських – А. Альгіна, І. Балабанова, П. Грабовського, М. Грачової, М. Лапуста, Н. Хохлова, О. Шапкіна, Л. Шаршукової та ін.) учених-економістів.

Відомо, що від тлумачення того чи іншого поняття, тобто від його визначення, значною мірою буде залежати його взаємозв'язок і взаємодія з іншими поняттями та мати свої класифікаційні ознаки.

Поняттям називається форма мислення, яка відтворює предмети і явища в їхніх істотних ознаках. Вироблення того чи іншого поняття завжди

є кроком уперед у пізнанні навколишнього світу, сходинкою у розвитку науки. При використанні того чи іншого поняття, нас, у першу чергу, цікавить їхній зміст. Зміст поняття з'ясовується завдяки логічній дії (операції), що дістала назву визначення.

Термін **"ризик"** походить з грецької мови і означає "скеля", тобто, ризикувати – це оминати скелю. Наведемо деякі найважливіші дефініції поняття "ризик", які зустрічаються у роботах [1 – 9]:

- *ризик* – це усвідомлена небезпека виникнення в будь-якій системі небажаної події з певними в часі та просторі наслідками;
- *ризик* – це невизначеність, пов'язана з можливістю виникнення у ході реалізації проекту несприятливих ситуацій і наслідків;
- *ризик* – це ймовірність несприятливих наслідків;
- *ризик* – ймовірність втрат, що можуть бути встановлені перемноженням ймовірності (частоти) негативної події на величину можливого збитку від неї;
- *ризик* – об'єктивно-суб'єктивна категорія, що пов'язана з подоланням невизначеності та конфліктності в ситуації неминучого вибору і відображає міру досягнення сподіваного результату, невдачі та відхилення від цілей з урахуванням впливу контрольованих та неконтрольованих чинників за наявності прямих та зворотних зв'язків.

Різноманітність поглядів на проблематику ризику можна пояснити багатоаспектністю цього явища та його недостатнім вивченням.

В явищі "ризик" виділяють такі основні взаємопов'язані елементи [9]:

- можливість відхилення від поставленої мети, заради чого виконувалася вибрана альтернатива;
- ймовірність досягнення бажаного результату;
- відсутність упевненості в досягненні поставленої мети;
- можливість виникнення небажаних наслідків (матеріальні або фізичні збитки, захворюваність, смертність і т. д.) при проведенні

тих чи інших дій в умовах невизначеності для суб'єкта, який ризикує;

- матеріальні, екологічні, моральні та інші втрати, пов'язані з впровадженням вибраної в умовах невизначеності альтернативи;
- очікування загрози, невдачі в результаті вибору альтернативи та її реалізації.

Об'єктом ризику називають керовану динамічну систему, ефективність та умови функціонування якої наперед точно невідомі.

Суб'єктом ризику називають особу (індивід або колектив), яка зацікавлена в результатах керування об'єктом ризику і має компетенцію приймати рішення щодо об'єкту ризику.

Джерело ризику — це фактори (явища, предмети, процеси), які спричиняють невизначеність результатів.

Також сучасні досягнення науки надають уявлення про ризик як про дворівневу взаємопов'язану структуру, що має теоретичний і прикладний аспекти. Розглянемо сутність цих аспектів.

Теоретичний аспект – це результат вивчення ризику як суспільного явища, що має власну сутність, відповідні закономірності розвитку й управління в ситуації невизначеності.

Ризик R визначають імовірністю W виникнення небажаної події та розміром її наслідків S , тобто

$$R = \{W, S\} \quad (1.1)$$

Теорія ризику у сучасному вигляді (**теорія корисності**) була започаткована працями Дж. Неймана та О. Моргенштейна. Систематичний огляд результатів, що розвивають ідеї теорії корисності здійснив А. Маршалл.

Теорія корисності тісно пов'язана з *концепцією суб'єктивної ймовірності*, яку використовують за відсутності повторюваності подій та неможливості інтерпретації ймовірності як частоти.

Принциповий момент концепції суб'єктивної ймовірності – визначення ймовірностей через поведінку людей.

Спробу математичного оформлення цього підходу зробив у XIX ст. академік Петербурзької академії наук Д. Бернаулі. Вчений дійшов висновку, що в ризикованих операціях слід максимізувати не сподіваний виграш, а сподівання корисності виграшу.

Наступний етап розвитку теорії ризику є синтезований Л. Севіджем ідеї суб'єктивної ймовірності та сподіваної корисності. Даний підхід сприяв становленню міждисциплінарної науки – **теорії прийняття рішень**.

У сучасній теорії прийняття рішень розглядається три типи моделей вибору рішень:

- 1) вибір рішень в умовах визначеності, якщо відносно кожної дії відомо, що вона обов'язково призводить до деякого конкретного результату;
- 2) вибір рішень в умовах, коли та або інша дія або дії мають своїм наслідком безліч окремих результатів, але їх вірогідність абсолютно не відома або не мають сенсу (в цьому випадку говорять, що рішення ухвалюються в умовах невизначеності);
- 3) вибір рішення в умовах, якщо кожна дія призводить до одного з безлічі можливих окремих результатів, причому кожен результат має обчислювану або експертно оцінювану вірогідність, відому особі, що ухвалює рішення (у цьому випадку говорять, що рішення ухвалюються в умовах ризику).

Прикладний аспект є результатом дослідження конкретних наук.

Загалом під ризиком, зазвичай, розуміється можлива небезпека втрат, яка витікає із специфіки тих або інших явищ природи і видів діяльності людського суспільства.

Ризик – це і *суб'єктивна*, і *об'єктивна* категорії [1]. Ризик пов'язаний з вибором певних альтернатив, розрахунком ймовірностей їх наслідків. У цьому є його *суб'єктивна* сторона. Крім того, вона проявляється також і в тому, що люди неоднакового сприймають одну і ту ж величину ризику внаслідок відмінностей психологічних, моральних, ідеологічних,

політичних організацій, принципів, установ тощо. Однак, величина ризику не тільки суб'єктивна, але і *об'єктивна* категорія, оскільки вона є формою якісно-кількісного вираження реально існуючої невизначеності. Об'єктивність ризику проявляється і в тому, що це поняття відображає реально існуючі у суспільному житті явища, процеси, сторони діяльності. При цьому ризик існує незалежно від того, чи усвідомлюють його наявність, чи ні, враховують чи ігнорують його.

Також ризик – це і *історична*, і *економічна* категорії. Як *історична категорія*, ризик є усвідомленою людиною можливою небезпекою. Як *економічна категорія*, ризиком є подія, яка може статися або не статися. При реалізації такої події можливі три економічні результати:

- 1) негативний (програв, збиток, витрати);
- 2) позитивний (виграш, вигода, прибуток);
- 3) нульовий.

Стосовно *фінансового ризик-менеджменту під ризиком*, переважно, розуміється можливість втрати частини своїх ресурсів, недоотримання доходів або появи додаткових витрат у результаті здійснення підприємницької діяльності, що відповідає поняттю чистої невизначеності.

Під *невизначеністю* (uncertainty) розуміється неповнота або неточність інформації про умови господарської діяльності, у тому числі про пов'язані з нею витрати та отримані результати.

Причинами невизначеності є три основні чинники [2]:

- незнання;
- випадковість;
- протидія.

Зокрема, невизначеність пояснюється тим, що економічні проблеми зводяться, по суті, до завдань вибору з деякого числа альтернатив, при цьому економічні агенти (організації та індивіди) не мають в своєму розпорядженні повної інформації про ситуацію для вироблення оптимального рішення, а також не мають обчислювальних та програмних

засобів достатньої потужності для адекватного обліку всієї доступної ним інформації.

У кількісному відношенні невизначеність має на увазі можливість відхилення результату від очікуваного, або середнього, значення як в меншу, так і в більшу сторону. Така невизначеність носить назву «спекулятивної», на відміну від "чистої" невизначеності, що передбачає лише можливість негативних відхилень кінцевого результату діяльності.

Відповідно, у літературі поняття "ризик" може відповідати як *спекулятивній* невизначеності та включати позитивні і негативні результати (наприклад, відносно операцій на фінансових ринках), так і *чистій* невизначеності (у цьому сенсі ризик трактується у страховій справі).

Виходячи із сутності ризику як економічної категорії та специфіки енергетичної галузі, пропонується під поняттям **"ризик суб'єктів енергетичного ринку"** розуміти *об'єктивно-суб'єктивну категорію, пов'язану з імовірністю виникнення небажаних подій (загроз) в умовах невизначеності та конфлікту економічних інтересів різних груп суб'єктів енергетичного ринку (ЕР), яка відображає міру їх втрат (збитків) внаслідок неузгоджених дій даних суб'єктів.*

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Наведіть приклади різних аспектів ризику.
2. Від чого залежить використання поняття "ризик"?
3. Чим можна пояснити різноманітність поглядів на проблему ризику?
4. Що є об'єктом, суб'єктом і джерелом ризику?
5. Які основні теорії є базисом сучасного ризик-менеджменту?
6. У чому полягає сутність економічного аспекту ризику?
7. Ризик – це об'єктивна чи суб'єктивна категорія? Обґрунтуйте відповідь.
8. Чи можна розглядати категорію "ризик" в історичному аспекті?

Обґрунтуйте відповідь.

9. Дайте визначення поняття "ризик суб'єктів енергетичного ринку".

1.2 Загрози та ризики функціонування суб'єктів енергоринку

У період лібералізації світових ринків значний вплив на розвиток паливно-енергетичного комплексу (ПЕК) країн мають наступні процеси:

- глобалізація;
- лібералізація ЕР;
- диверсифікація;
- децентралізація;
- модернізація.

Сутність впливу даних процесів полягає в наступному [3]:

- *глобалізація* призводить до посилення інтеграції енергетичних систем в економічному (ринки електроенергії, інвестиції), технологічному (розширення меж територій із централізованим електропостачанням), міждержавному і міжконтинентальному (міждержавні та міжконтинентальні енергооб'єднання) аспектах;
- *лібералізація ЕР* веде до зростання дерегулювання і конкуренції, розвитку регіональних, міжрегіональних і міждержавних ЕР;
- *диверсифікація*, призводить з одного боку, до збільшення використання різноманітних видів палива, джерел паливо- і електропостачання, з другого – різних типів енергоустановок;
- *децентралізація* дозволяє впровадити невеликі енергоустановки (замість спорудження великих електроенергетичних об'єктів) при збереженні ролі транспортної і розподільної електричної мережі як відповідної інфраструктури, що забезпечує ефективність, надійність і якість електропостачання споживачів (у зв'язку з цим з'явилося поняття розподіленої генерації);
- *модернізація* веде до підвищення ефективності традиційних і створенню нових високоефективних технологій і установок.

В Україні лібералізація ЕР призвела до негативних наслідків щодо стабільного і безпечного функціонування енергетичних систем (зокрема, електроенергетичних – ЕЕС), пов'язаних з наступними чинниками:

- внаслідок появи нових "гравців" (суб'єкти відносин) ЕР з різними інтересами породжується відмінність критеріїв управління для ЕЕС в цілому, так і окремих її частин. Конкретний склад суб'єктів ЕР залежить від виду товару або послуг (ринку електроенергії і потужності, ринку теплової енергії), категорії і характеру споживачів енергії, видів діяльності та інших параметрів, а також від типу моделі організації ЕР;
- виникає суперечність між комерційними інтересами енергетичних компаній і необхідністю забезпечення надійності енергосистеми;
- у процесі функціонування ЕР виникають істотні та різкі зміни в електричних режимах, через що в енергосистемах можуть виникати позаштатні ситуації, в яких система протиаварійного управління може не спрацювати;
- змінюються критерії управління у складних аварійних ситуаціях і при системних аваріях: якщо при централізованому управлінні протиаварійне управління, направлене на швидке припинення каскадного розвитку аварії і мінімізацію наслідків для споживачів, є загальносистемним завданням всього енергооб'єднання, то в умова лібералізації (енергооб'єднання складається з незалежних енергетичних систем) система, в якій розвивається каскадна аварія, повинна виходити з неї власними силами, не допускаючи негативного впливу аварії на інші енергетичні системи енергооб'єднання.

Загалом, процес лібералізації ЕР призвів до появи конфлікту інтересів (тобто цілей діяльності) між новими суб'єктами ЕР (табл. 1.1) [3], що, у свою чергу, є впливовим джерелом формування ризиків функціонування ПЕК. Сутність основних конфліктів полягає в наступному:

- конфлікт інтересів виробників енергії і палива, загострення якого має вкрай негативний макроекономічний ефект. Також

- організаційна роз'єднаність паливних і енергетичних підприємств провокують збільшення цін як на енергію, так і на енергоносії;
- конфлікт інтересів виробників енергії і постачальних компаній – існуюча система взаємин в даному комплексі більш повно дозволяє реалізувати інтереси енергопостачальних компаній, що обумовлено як технологічними особливостями виробництва, так і специфікою взаємин. Так, ціни на енергію регулюються державою, а ціни на промислову продукцію, у тому числі для потреб енергопідприємств, фактично ринкові;
 - конфлікт інтересів держави і інвесторів. Інвестори, перш за все, орієнтовані на швидку окупність інвестицій, а не на довгостроковий розвиток.

Таблиця 1.1

Зміст інтересів (цілей) суб'єктів енергоринку

Суб'єкт ЕР	Інтереси (цілі)
1	2
Органи державної влади	Забезпечення ЕнБ держави; модернізація ПЕК; зменшення технологічних і комерційних втрат електроенергії; максимізація надходжень у бюджети відповідних рівнів; мінімізація екологічного впливу об'єктів енергетики на реципієнтів, забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів; ефективне та надійне функціонування ЕР, встановлення економічно обґрунтованих тарифів на електроенергію.
Виробники електроенергії та енергозабезпечуючі підприємства, продавці електроенергії, суб'єкти, що надають електроенергетичні послуги на ОРЕ	Забезпечення надійності функціонування енергетичної компанії; максимізація прибутку в результаті своєї діяльності; підвищення ККД електростанцій; зменшення зносу основних виробничих фондів; зменшення потреби в нових генеруючих потужностях і експлуатаційних витрат; підвищення інвестиційної привабливості за рахунок забезпечення фінансової безпеки підприємства

продовж. табл. 1.1

1	2
Споживачі електроенергії	Якість електроенергії та надійність електропостачання; мінімізація тарифів на електроенергію
Інвестори (банки, юридичні й фізичні особи)	Максимізація прибутків; мінімізація строків повернення вкладеного в електроенергетичні об'єкти капіталу; максимізація дивідендів
Незалежні комерсанти	Максимізація прибутків за рахунок збільшення кількості укладених договорів та перепродажу електроенергії
Громадські організації	Мінімізація екологічного впливу об'єктів енергетики на довкілля та здоров'я населення; підвищення екологічної свідомості населення, та осіб, які приймають рішення

Інакше кажучи, в умовах конфлікту інтересів між новими суб'єктами ЕР існує імовірність виникнення [4]:

- 1) так званих "фізичних" (технологічних) ризиків, пов'язаних з імовірністю відмов і перебоїв у роботі основного обладнання енергетичних підприємств (критичним є стан ТЕС);
- 2) якісно нових (сучасних) фінансових ризиків, зумовлених, насамперед, формуванням різних груп суб'єктів відносин у процесі функціонування й розвитку енергосистем.

Різноманітність інтересів конкуруючих суб'єктів ЕР зумовлена, насамперед, принципово новим механізмом встановлення відпускних цін.

У період існування природних монополій ціни на різні види енергії визначалися за витратами на виробництво і транспортування.

Основні типи та види бізнес-ризиків світового ПЕК, які виділені компанією «Ernst&Young» [5] наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

**Основні типи та види бізнес-ризиків розвитку
паливно-енергетичного комплексу**

Типи ризику	Джерела виникнення	
	Нафтогазова галузь	Електроенергетика
Фінансові	1. Погіршення фінансових умов діяльності підприємств; 2. Коливання цін.	Суттєві коливання вартості залученого капіталу.
Невідповідність законодавчим вимогам	1. Невизначеність екологічної політики; 2. Кліматичні зміни та екологічні проблеми.	1. Державне втручання в управління галуззю; 2. Нестабільність законодавчої бази.
Стратегічні	1. Обмежений доступ до світових енергоресурсів внаслідок високої конкуренції та політичних «ігор»; 2. Взаємне дублювання послуг, які пропонуються міжнародними нафтовими компаніями та сервісними компаніями.	1. Нездатність до адаптації умов лібералізації та дерегулювання ринку; 2. Нездатність забезпечити необхідні обсяги виробництва; 3. Недосконалість управління, планування та врахування громадської думки.
Операційні	1. Утримання зниження витрат; 2. Дефіцит кадрових ресурсів; 3. Значний дефіцит пропозицій	1. Довгостроковий доступ до ПЕР за конкурентними цінами; 2. Розширення, модернізація та технічне обслуговування мережової інфраструктури; 3. Впровадження низько-вуглецевих технологій; 4. Збільшення напруги внаслідок впровадження енерговиробничого обладнання.

Примітка: послідовність джерела формування ризику наведено згідно їх ступеня впливу на розвиток галузі (по мірі зменшення)

У доповіді "Global Risks 2008" [6], підготовленої Всесвітнім економічним форумом у співпраці з іншими авторитетними організаціями (Citigroup, Wharton School Risk Center та ін.), виділені п'ять груп глобальних ризиків світової економіки, до яких відносяться:

- 1) економічні;
- 2) геополітичні;
- 3) екологічні;
- 4) технологічні;
- 5) соціальні.

У табл. 1.3 наведено вірогідність їх прояву за 5-рівневою шкалою та можливі економічні наслідки для розвитку світової економіки.

Таблиця 1.3

Кількісна оцінка глобальних ризиків світової економіки

Рівень	Вірогідність прояву, %	Економічний збиток, дол.
1	менше 1.0	2 – 10 млрд
2	1 – 5.0	10 – 50 млрд
3	5 – 10.0	50 – 250 млрд
4	10 – 20.0	0.25 – 1 трлн
5	більше 20.0	більше 1 трлн

Згідно доповіді, найбільш вірогідними ризиками, з якими світ вже стикається в сьогоденні, є ризики, обумовлені системною фінансовою кризою, що призвела до:

- зниження вартості активів через обвал цін на фондовому ринку і втратами понад 1 трлн дол. (5-й, найвищий рівень ризику);
- зростання цін на продовольчі товари;
- уразливості глобальних каналів постачань і зростання цін на енергоносії.

При цьому вірогідність зростання цін на основні енергоносії глобального ринку – нафту і газ, через тимчасове зниження їх постачань на глобальний ринок в доповіді оцінюється в 10–20 %, а вірогідний економічний збиток від цього для світової економіки, що визначається зниженням світового валового внутрішнього продукту, – до 1.0 трлн дол. (4-й рівень ризику).

У структурі прогнозованого споживання первинних енергоносіїв значна частка (90 %) збережеться за невідновлюваними видами енергії. Питома вага природного газу в загальносвітовому енергоспоживанні зросте з 23 % у 2000 р. до 28 % у 2030 р. Пріоритетне становище нафти підтримується потребою в ній транспортного сектора економіки, який стрімко розвивається у різних країнах. У перспективі його частка становитиме до 75 % загального приросту споживання нафти. При цьому істотно зростає собівартість нафтогазового видобування. Найбільш доступні та економічно рентабельні нафтогазові родовища наближаються до виснаження.

У "Зеленій книзі" загальними загрозами енергетичної безпеки Європейських країн визначені фізичні, економічні, соціальні та екологічні ризики.

Фізичний ризик полягає в можливості вичерпання родовищ основних ПЕР (в першу чергу нафти та природного газу). Крім того, не виключається можливість значних природних катастроф та геополітичних криз, які в змозі вплинути на стабільність енергопостачання.

Економічні ризики пов'язані з нестабільністю цін на головні ПЕР на світових ринках, які викликають дисбаланс в фінансовій та торгівельних сферах та несуть в собі значні загрози економічному добробуту країн.

Соціальні ризики також пов'язані з нестабільністю цін, що може викликати серйозне невдоволення споживачів. Вважається, що в даний час вартість бензину є таким же фактором стабільності в Європі (США, Україна та ін.), як і вартість хліба два століття тому назад.

Екологічні ризики пов'язані як з імовірністю аварій на атомних та теплових електростанціях, витоків та розливів нафти, витоків газу

та інших аварій на підприємствах енергетики, так і з постійними витоками забруднюючих речовин. Крім того, особлива увага приділяється заходам, пов'язаним з запобіганням глобальному потеплінню.

Саме глобальні зміни клімату, які сьогодні відбуваються, можуть бути одним із важливих джерел формування прямих та опосередкованих ризиків розвитку суспільства. Так, наприклад, для України до *прямих ризиків* можна віднести наступні:

- підвищення частоти й інтенсивності кліматичних аномалій і екстремальних явищ погоди;
- посухи, що генетично властиві клімату України, стають усе частішими та більш інтенсивними;
- внаслідок пом'якшення зим наростатимуть явища, пов'язані з льодовою кіркою;
- загострення проблем з водозабезпеченням південних та південно-східних регіонів України;
- підвищення рівня захворюваності та смертності населення внаслідок зміни температурного режиму, появи нових видів захворювань;
- підвищення рівня Чорного і Азовського морів, що, в свою чергу, посилить процеси розмиву берегів, затоплення, підтоплення;
- зменшення продуктивності лісів;
- незворотні зміни у екосистемах, що призведуть до вкрай негативних наслідків для біорізноманіття.

Опосередкованими ризиками є:

- поява «кліматичних біженців» внаслідок зникнення малих острівних держав, затоплення великих площ суходолу, голоду і нестачі питної води у найбільш уразливих до зміни клімату країн;
- кризовий стан продовольчої безпеки внаслідок збільшення площ посівів рапсу (з метою скорочення викидів парникових газів у результаті застосування зелених технологій), причому переважно за рахунок зернових та інших сільськогосподарських культур.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Які процеси впливають на розвиток електроенергетичної системи?
2. Чи впливає процес лібералізації енергоринку на формування ризиків?
Обґрунтуйте відповідь.
3. Наведіть приклади основних суб'єктів енергоринку в Україні
4. Основні типи та види бізнес-ризиків світового ПЕК?
5. Наведіть приклади джерел формування ризиків в умовах лібералізації енергоринку.
6. До яких наслідків може призвести глобальна зміна клімату?

1.3 Класифікації ризиків суб'єктів енергетичного ринку: методична основа побудови

Будь-який ризик має конкретний об'єкт і форму проявлення. Це дозволяє будувати класифікацію ризиків в залежності від видів діяльності, матеріальних й інших цінностей, які залучаються до цієї діяльності та відношень з приводу використання цих цінностей. Центальною проблемою класифікації будь-якого поняття взагалі та ризиків зокрема є проблема вибору та обґрунтування ознаки, за якою здійснюється класифікація. *Ознакою* називається все те, в чому предмети схожі один з одним або чим різняться.

Взагалі, під *класифікацією*, деякої множини об'єктів розуміють розбиття її на підмножини (за певним принципом – основою класифікації), які, не перетинаючись, в об'єднанні дають початкову множину. Згідно [7] кожна класифікація є поділом (особливою його формою), але не кожний поділ є класифікацією. У кожному поділі за підставу поділу повинна бути узята будь-яка суттєва ознака. Підставою ж класифікації повинна слугувати не одна із суттєвих ознак, а ознака найбільш суттєва – та, від якої залежать і витікають усі інші ознаки предметів і явищ, що класифікуються.

Як правила побудови класифікацій використовують правила поділу різних "понять". Вони містять наступні вимоги [7]:

- один і той самий поділ має відбуватись на одній основі (підставі) поділу;
- поділ має бути сумірним, тобто обсяг членів поділу, разом узятих, повинен дорівнювати обсягу поділюваного поняття;
- поділ має бути непереривним, тобто в процесі поділу необхідно переходити до найближчих видів, не перескакуючи через них;
- члени поділу мають виключати один одного, тобто при поділі на групи окремий предмет може знаходитись тільки в одній групі;
- основою поділу має бути ознака, яка вказує на істотну відмінність між членами поділу.

Важливою для побудови класифікації ризиків є модифікація вимоги щодо вибору основи поділу та її єдності, яка виходить з того, що в класифікаціях з великою кількістю рівнів практично неможливо використовувати одну основу поділу на усіх рівнях. Тому слід прагнути до використання як основи поділу такої ознаки, що може слугувати для упорядкування членів горизонтального ряду. Коли це неможливе, то модифікація полягає у можливості багаторазового поділу (за декількома близькими за змістом основами) одного й того самого класу на підкласи, в результаті чого отримуємо одну класифікацію, в якій поєднано декілька різних поділів.

На сьогодні існує багато різних класифікацій ризику. Розглянемо приклади класифікації ризиків.

Наприклад, спеціалісти-аналітики класифікують ризики (*R*) наступним чином [8]:

Динамічний – це ризик не передбачуваних змін вартісних оцінок проекту внаслідок зміни початкових управлінських рішень, а також ринкових чи політичних обставин. Такі зміни можуть призвести як до втрат, так і до додаткових прибутків.

Статистичний – це ризик втрат реальних активів внаслідок нанесення збитку власності чи незадовільної організації. Цей ризик може призвести лише до втрат.

Відносний ризик – це величина, що є відношенням умовних ймовірностей $P(B/A)$ та $P(B/\bar{A})$ виникнення події B за наявності чи відсутності події A :

$$R = \frac{P(B/A)}{P(B/\bar{A})} \quad (1.2)$$

Привнесений ризик. Якщо подія A – наявність досліджуваного нами фактора ризику, а подія B – наявність результуючого фактора і дорівнює $P(B) = P(B/A)P(A) + P(B/\bar{A})P(\bar{A})$, тоді величина привнесеного ризику визначається за формулою:

$$R = \frac{P(B/A)P(A) - P(B/\bar{A})P(A)}{P(B)} \quad (1.3)$$

Привнесений ризик можна інтерпретувати як частку, на яку зменшиться величина $P(B)$ – імовірність наявності позитивного результуючого фактору при усуненні фактору ризику.

Кумулятивний ризик (ризик населення) – це кількість випадків виникнення специфічного ефекту, який очікується у певної групи населення.

Додатковий ризик – зростання ймовірності виникнення небажаного ефекту, пов'язаного з специфічною причиною (наприклад, вплив токсичних сполук).

У роботі [8] ризики пропонується класифікувати за наступними ознаками:

- 1) ступінь зв'язку з підприємницькою діяльністю;
- 2) приналежність до країни функціонування господарюючого суб'єкта;
- 3) рівень виникнення;
- 4) сфера походження;
- 5) причини виникнення;
- 6) ступінь обґрунтованості прийняття;

- 7) *ступінь системності;*
- 8) *відповідність допустимим межам;*
- 9) *ознака реалізації;*
- 11) *складність аналізу;*
- 12) *масштаби впливу;*
- 13) *можливість прогнозування;*
- 14) *ступінь впливу на діяльність господарських суб'єктів.*

Також у [9; 10] наведено декілька прикладів класифікації економічного ризику, а саме:

1) ризики можна класифікувати за такими ознаками:

- *ризик, пов'язаний з господарською діяльністю;*
- *ризик, пов'язаний з особистістю підприємця;*
- *ризик, пов'язаний з неповною інформацією щодо стану середовища.*

2) крім цього, у низці наукових праць запропоновано таку класифікацію ризику:

- *за масштабами та обсягами (глобальний, локальний);*
- *за аспектами (психологічний, соціальний, економічний, екологічний, юридичний, політичний, медико-біологічний);*
- *за мірою об'єктивності та суб'єктивності (з об'єктивною ймовірністю, з суб'єктивною ймовірністю, з об'єктивно-суб'єктивною ймовірністю);*
- *за степеню (мірою) ризиконасиченості рішень (мінімальний, середній, оптимальний або ж допустимий, критичний, катастрофічний);*
- *за мірою обґрунтованості ризику (раціональний, нераціональний, авантюрний);*
- *за терміном оцінки та урахування ризику (випереджаючий, своєчасний, запізнений);*
- *за чисельністю осіб, які беруть участь у прийнятті рішень (індивідуальний, груповий, колективний);*

- за *ситуаційним класом* джерел (в умовах невизначеності, в умовах конфлікту (конкуренції), в умовах розпливчастості (нечіткості)).

Як показує аналіз літературних джерел найбільш істотні ознаки, за якими необхідно здійснювати класифікацію ризиків є *причини, джерела та фактори ризику*.

У [1] наводиться низка *факторів*, які є основним джерелом виникнення невизначеності та ризику, а саме:

- це внутрішні фактори, які притаманні суспільству як соціальному організму;
- фактори, які пов'язані з неповнотою інформації, відомостей щодо об'єкта, явища, процесу;
- фактори, які обумовлені впливом суб'єкта (людина, група, колектив, організація, установа та ін.) на суспільне життя з метою реалізації своїх потреб, інтересів, цілей;
- фактори, які пов'язані із впливом науково-технічного прогресу на соціальне, економічне, політичне та духовне життя;
- фактори, які пов'язані з творчістю – діяльністю, яка характеризується неповторністю, оригінальністю, унікальністю.

При причинно-наслідковому підході розглядання змісту та класифікації ризику, найбільш суттєвою ознакою, від якої залежать і з якої витікають усі інші ознаки ризику є причини виникнення невизначеності умов, за яких здійснюється підприємницька діяльність суб'єктів господарювання, тобто *джерела ризику*, а саме [7]:

- спонтанність природних процесів і явищ, природні лиха;
- випадковість, яка обумовлена імовірнісною сутністю соціально-економічних і технологічних процесів;
- наявність антагоністичних тенденцій, зіткнення суперечливих інтересів;
- обмеженість, недостатність матеріальних, фінансових, трудових та інших ресурсів, потрібних для здійснення підприємницької діяльності;

- неповнота, недостатність, низька якість інформації, яка використовується при прийнятті господарських рішень;
- відносна обмеженість свідомої діяльності людей, неминучі відмінності в соціально-психологічних установках, ідеалах, намірах, оцінках, стереотипах поведінки та ін.

Відповідно до наведених вище джерел виникнення ризику підприємницької діяльності в якості першого (вищого) рівня класифікації розглядається наступний перелік ризиків:

- *природно-кліматичні* (можливість незапланованої зміни кінцевого результату діяльності внаслідок проявлення стихійних сил природи);
- *техніко-технологічні* (можливість незапланованої зміни кінцевого результату діяльності внаслідок впливу на стан та продуктивність техніки та технології випадкових факторів (різного роду аварії, вихід з ладу обладнання тощо));
- *кримінально-правові* (можливість незапланованої зміни кінцевого результату діяльності внаслідок прояву неправомірних дій (рекет, піратство, навмисне завдання шкоди, хабарництво, корупція чиновників тощо));
- *політико-економічні* (можливість незапланованої зміни кінцевого результату діяльності внаслідок змін в економіці країни, або політичної обстановки, які зумовлюють загальний стан економіки та впливають на підприємницьку діяльність (зміни кон'юнктури ринку, інфляції, глобальні зміни оподаткування, зміни грошової політики, війни, революції тощо));
- *організаційно-управлінські* (можливість незапланованої зміни кінцевого результату діяльності внаслідок помилкових рішень з питань економіки, організації та управління, що приймаються суб'єктом господарювання).

В якості загальної класифікації (мова йде про перший рівень класифікації ризиків) господарських ризиків пропонується виділяти наступні ризики:

- *ризики, пов'язані з небезпекою для життя людей, природні, екологічні* (практична відсутність достовірних і репрезентативних статистичних даних);
- *виробничо-технологічні* (відображають імовірнісні наслідки відмов технічних систем і їх елементів);
- *правові* (неможливість створення ефективного механізму управління ризиками в результаті недосконалості чинного законодавства);
- *фінансово-економічні* (відсутність даних про реальну вартість і технічний стан електроустаткування, практична неможливість отримання об'єктивної техніко-економічної інформації про наслідки різного роду аварій, пошкоджень, збоїв);
- *соціально-політичні* (виникають внаслідок державної політики та національних особливостей країн);
- *інформаційні* (пов'язані з втратою або отриманням недостовірної інформації);
- *комерційні* (відображають небезпеку втрат у процесі фінансово-господарській діяльності (змінна цін на товари, роботи, послуги; збої в системах розрахунків з постачальниками і покупцями; невчасні платежі)).

У роботі [7] запропоновано варіант узагальненої класифікації економічних ризиків, коротка характеристика яких (коментарі) наведені у табл. 1.4.

Таблиця 1.4

Характеристика економічних ризиків

Ризики	Характеристика
1	2
<i>Залежно від можливого результату (I рівень)</i>	
Статистичні (чисті)	Можливість отримання негативного або нульового результату
Динамічні (спекулятивні)	Можливість отримання як негативного, так і позитивного результату

продовж. табл. 1.4.

1	2
Залежно від основної причини виникнення ризиків (II рівень)	
Природні	Повені, землетруси, пожежі і ін.
Екологічні	Виникають у результаті забруднення навколишнього середовища
Політичні та соціальні	Виникають внаслідок державної політики та національних особливостей країн
Комерційні	Виникають у результаті фінансово-господарської діяльності
Технічні	Виникають у процесі виробництва товарів та послуг
Галузеві	Виникають у результаті трансформаційних процесів у галузі
Інноваційні	Виникають при вкладенні засобів у виробництво нових товарів та послуг
Транспортні	Пов'язані з перевезенням вантажів
Торговельні	Пов'язані з затримкою платежів, зниженням цін, перевиробництвом
Інформаційні	Пов'язані з втратою або отриманням недостовірної інформації
Організаційні	Пов'язані з втратою внаслідок неефективної організації ведення справ
Фінансові	Ймовірність втрат фінансових ресурсів
Інфляційні	Обумовлені зростанням інфляції
Дефляційні	Погіршення економічних умов підприємств у зв'язку зі зниженням рівня цін на вироблену продукцію та надані послуги
Валютні	Пов'язані зі зміною валютного курсу
Ліквідності	Пов'язані з можливими втратами при реалізації цінних паперів чи інших товарів внаслідок зміни цін та споживчої вартості
Зниження доходності	Виникають у результаті зниження процентів та дивідендів по профільним інвестиціям, по вкладам та кредитам
Процентні	Ймовірність втрат у результаті підвищення процентних ставок, що виплачуються за залучені ресурси
Кредитні	Ризик неповернення кредиту
Біржові	Ймовірність втрат від біржових операцій
Вибору	Виникають у результаті неправильного вибору напряму розміщення капіталу при формуванні інвестиційного портфелю
Банкрутства	Повна втрата власного капіталу

Приклад класифікації ризиків енергопідприємства відповідно до критерію характеру наслідків наведено на рис. 1.1, [11].

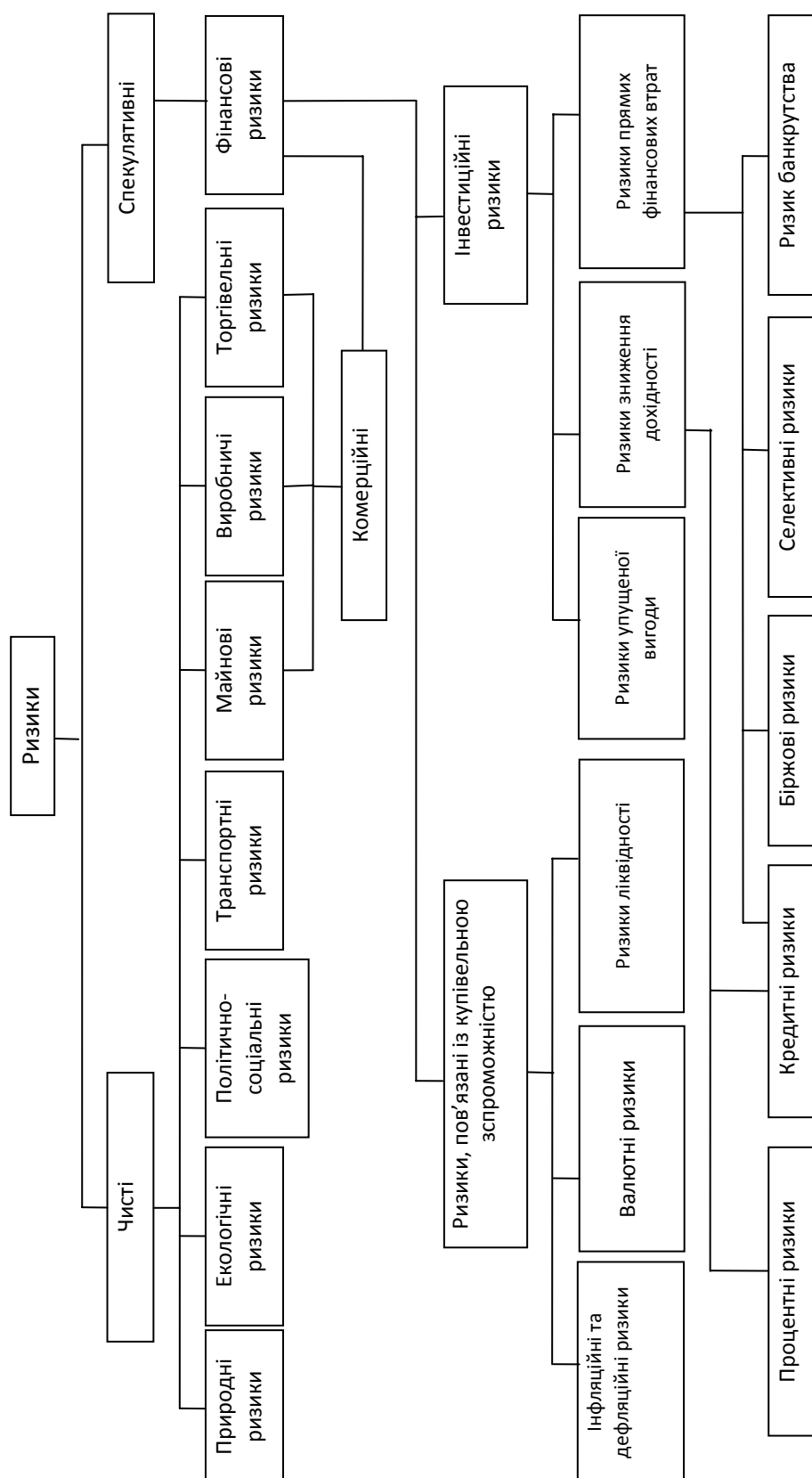


Рис. 1.1.1. Класифікація ризиків функціонування енергетичних компаній

Дещо відмінний підхід до загальної класифікації ризиків суб'єктів електроенергетичного ринку представлений у роботі [12], згідно якої класифікаційна система повинна включати *групи, категорії, види, підвиди і різновиди* ризиків, які наведено табл. 1.5.

Згідно табл. 1.5 та рис. 1.1 приведемо визначення ризиків.

Чисті ризики означають можливість отримання негативного або нульового результату.

Спекулятивні ризики виражаються в можливості отримання як позитивного, так і негативного результату.

До природних відносяться ризики, пов'язані із землетрусами, повеннями, бурями, грозами, екстремальними температурами, пожежами, епідеміями і т. п.

Екологічні ризики пов'язані з можливими наднормативними діями на навколишнє середовище.

Політичні ризики визначаються політичною ситуацією в країні і в світі, діяльністю уряду, адміністрації всіх рівнів, природних монополій. Вони можуть виникати при порушенні умов виробничо-комерційного процесу з причин, безпосередньо не залежних від господарюючого суб'єкта. До цього виду ризику можна віднести неможливість здійснення господарської діяльності: військових дій, революцій, страйків, загострення внутрішньополітичної ситуації, націоналізації, конфіскації товарів і судове призупинення діяльності підприємств, введення ембарго, відмови уряду виконувати взяті попередниками зобов'язання, введення мораторію на зовнішні платежі зважаючи на настання надзвичайних обставин, несприятливої зміни податкового законодавства, заборони або обмеження конверсії національної валюти у валюту платежу.

Транспортні ризики пов'язані з перевезеннями вантажів (у тому числі палива для електростанцій) автомобільним, морським, річковим, повітрям, залізничним, трубопровідним і іншими видами транспорту. Окрема складова транспортних ризиків пов'язана з передачею електричної енергії та потужності по магістральних і розподільних електричних мережах різних рівнів напруги.

Таблиця 1.5

**Приклад ієрархії класифікації ризиків суб'єктів
електроенергетичного ринку**

Тип ризику	Підтипи		
Залежно від можливого результату			
1. Чисті			
2. Спекулятивні			
Залежно від причин виникнення			
1. Техногенні			
2. Природні			
3. Екологічні			
4. Політичні			
5. Транспортні			
6. Комерційні	6.1 Майнові		
	6.2 Виробничі		
	6.3 Торгівельні		
	6.4 Маркетингові		
	6.5 Спільні		
	6.6 Фінансові	6.6.1 Інфляційні	
		6.6.2 Дефляційні	
		6.6.3 Валютні	
		6.6.4 Ризики ліквідності	
		6.6.5 Інвестиційні	
		6.6.6 Ризик упущеної вигоди	
		6.6.7 Ризики зниження прибутковості	
		6.6.8 Ризики прямих фінансових втрат	ризик банкрутства, селективний ризик, біржовий ризик

Комерційні ризики є небезпекою втрат у процесі фінансово-господарській діяльності (зміна цін на товари, роботи, послуги; збої в системах розрахунків з постачальниками і покупцями; невчасні платежі). Зміст їх полягає в невизначеності результатів комерційних операцій. Вони діляться на майнові, виробничі, торгівельні, фінансові, маркетингові.

Майнові ризики пов'язані з вірогідністю втрат майна підприємця унаслідок диверсії, халатності, крадіжки, аварії в технологічних системах виробництва, передачі, розподілу енергоресурсів.

Виробничі ризики визначаються можливим збитком від зупинки основного виробництва унаслідок дії різних зовнішніх чинників і, перш за все, із загибеллю або пошкодженням основних і оборотних фондів; впровадженням у виробництво нової техніки і технології; втратою кваліфікованих кадрів; ризики систем управління і інформаційних втрат.

Торгівельні ризики, пов'язані із збитком унаслідок затримки платежів, відмови від платежу, непостачання (недопостачі) товару або послуги і тому подібне.

Фінансові ризики пов'язані з вірогідністю втрат фінансових ресурсів.

Інфляційні ризики залежать від зміни купівельної спроможності, коли отримувані доходи знецінюються швидше, ніж зростають, а підприємець несе реальні втрати.

Дефляційні ризики утворюються унаслідок падіння цін, погіршення економічних умов підприємництва і зниження доходів.

Валютні ризики представляють небезпеку втрат від зміни курсу валют, при зовнішньоекономічних, кредитних і інших валютних операціях.

Ризики ліквідності – пов'язані з можливістю втрат при реалізації цінних паперів або інших товарів (послуг) із-за зміни оцінки їх якості і споживної вартості).

Інвестиційні ризики пов'язані з вкладенням капіталу.

Ризик упущеної вигоди, який визначає непрямий (побічний) фінансовий збиток (недотриманий прибуток) у результаті нездійснення якого-небудь заходу (страхування, хеджування, інвестування).

Ризики зниження прибутковості, зменшення розміру відсотків (*процентні ризики*) і дивідендів, що виникають у результаті, за портфельним інвестиціями (придбання цінних паперів), вкладах і кредитах (*кредитні ризики*, які визначають небезпеку несплати позичальником основного боргу і відсотків, що належать кредиторів, а також ризик події, при якій емітент, що випустив боргові зобов'язання, опиниться не в змозі виплачувати відсотки ним або основну суму боргу).

Ризики прямих фінансових втрат – що включають:

- *біржовий ризик*, що визначає небезпеку втрат від біржових операцій (неплатежі за комерційними операціями, неплатежі комісійної винагороди брокерської фірми і т.п.);
- *селективний ризик*, що виникає у результаті неправильного вибору видів вкладення капіталу, виду цінних паперів для інвестування і пов'язаний з вибором альтернативних варіантів і їх цілей;
- *ризик банкрутства*, який представляє небезпеку неправильного вибору вкладень капіталу, повної втрати власного капіталу та нездатності розраховуватися по узятих зобов'язаннях.

Маркетингові – пов'язані з неможливістю точного визначення розмірів і часу ринкових змін, невизначеністю продажів за ціною, достатньою для подальшого функціонування суб'єкта ринкових стосунків.

Загальні – виникають у зв'язку з "розмиванням" відповідальності і порушенням стосунків, що склалися, при взаємодії з місцевими та регіональними органами управління; тимчасовими і фінансовими витратами на підготовку та переоформлення різних видів договірних стосунків.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Що є підставою побудови класифікації ризиків?
2. Наведіть приклади ознак побудови класифікації.
3. Основні вимоги побудови класифікації?
4. Наведіть приклади факторів виникнення невизначеності та ризику.

5. Які основні методичні підходи застосовуються при розгляді змісту та класифікації ризику?
6. Наведіть приклади різновидів ризиків суб'єктів ЕР.

1.4 Міжнародна практика класифікації складових господарського ризику

До основних груп ризиків діяльності суб'єктів ЕР відносяться:

- *ринкові;*
- *кредитні;*
- *ризики ліквідності;*
- *операційні;*
- *технологічні;*
- *ризики бізнес-процесу.*

Дані групи ризиків широко представлені в міжнародній практиці ризик-менеджменту різних галузей економіки [13]. Розглянемо сутність та підходи щодо їх класифікації.

Ринковий ризик (*market risk*) – це можливість невідповідності характеристик економічного стану об'єкту значенням, яких очікують особи, які приймають рішення під дією ринкових чинників. Проте часто використовується (перш за все, при поясненні методології *value at risk*) поняття ризику, пов'язане з можливістю лише несприятливих результатів, збитків і негативних наслідків. Наприклад, інвестор чекає, що прибутковість портфеля цінних паперів знаходитиметься у межах деякого діапазону. Можливість відхилення ринкового рівня прибутковості за межі цього інтервалу є ринковим ризиком. При цьому часто під ризиком розуміється можливість відхилення прибутковості лише в негативному діапазоні.

Ринкові ризики пов'язані з невизначеністю та коливанням ринкової кон'юнктури - ціновими та курсовими (валютними) ризиками, процентним ризиком, ліквідністю і тому подібне. Зазначене характеризується чутливістю до цих коливань і має ринкові ризики. *Ринкові ризики інколи*

називають технічними (не плутати з різновидами операційних і інших ризиків!) за асоціацією з технічним аналізом, який використовується для дослідження і прогнозування цін, курсів, обсягів і інших індикаторів, пов'язаних з ринком. Не лише прямі цінові чинники є джерелами ринкових ризиків. Наприклад, кореляція між прибутковістю різних інструментів не є прямим ціновим чинником, але побічно впливає на цінові характеристики портфеля, що містить ці інструменти.

Найбільш поширена класифікація *ринкових ризиків* проводиться за сегментами фінансового ринку, і включає [13]:

- *процентний ризик* (interest rate risk) – це можливість негативної зміни вартості активів у результаті зміни процентних ставок. Для кредитних установ одним з проявів процентного ризику може бути скорочення процентної маржі між ставками, що виплачуються із залученням засобів і ставками за наданими кредитами. Іншим прикладом процентного ризику може слугувати ризик реінвестування засобів при нестійких процентних ставках;
- *валютний ризик* (currency risk) визначається як можливість негативної зміни вартості активів у зв'язку із зміною курсу однієї іноземної валюти відносно до іншої, у тому числі національної, валюти при проведенні кредитних і зовнішньоекономічних операцій, а також при інвестуванні за кордоном. Окрім чисто економічної складової, поняття валютного ризику об'єднує в собі також і ризики іншої природи — ризик (ризик перекладу) трансляції і операційний валютний ризик;
- *ціновий ризик ринку акцій, або фондовий ризик* (equity risk);
- *ціновий ризик товарних ринків, або товарний ризик* (commodity risk);
- *ризик ринку похідних фінансових інструментів* (derivative risk).

Хоча валютний і процентний ризики мають спільну економічну природу з іншими формами ринкового ризику, вони у низці класифікацій розглядаються відособлено у зв'язку з їх важливістю для господарюючих суб'єктів, особливо для банківського сектора.

Кредитний ризик (*credit risk*) — це можливість втрат внаслідок нездатності контрагента виконати свої контрактні зобов'язання. Для кредитора наслідки невиконання цих зобов'язань вимірюються втратою основної суми заборгованості та неоплачених відсотків за вирахуванням суми відновлених грошових коштів. Крім того, до кредитного ризику відносяться також і втрати, пов'язані з *пониженням кредитного рейтингу* позичальника, оскільки це, зазвичай, призводить до пониження ринкової вартості його зобов'язань, а також втрати у вигляді недоотриманого прибутку унаслідок *дострокового повернення позики* позичальником.

Існує декілька класифікацій кредитного ризику. Наприклад, як показано на рис. 1.2 основними складовими кредитного ризику є [2]: *ризик дефолту* (*default risk*); *ризик країни або суверенний ризик* (*country/sovereign risk*); *ризик контрагента* (*counterparty risk*).

Приведемо основні визначення ризиків зазначених на рис. 1.2.

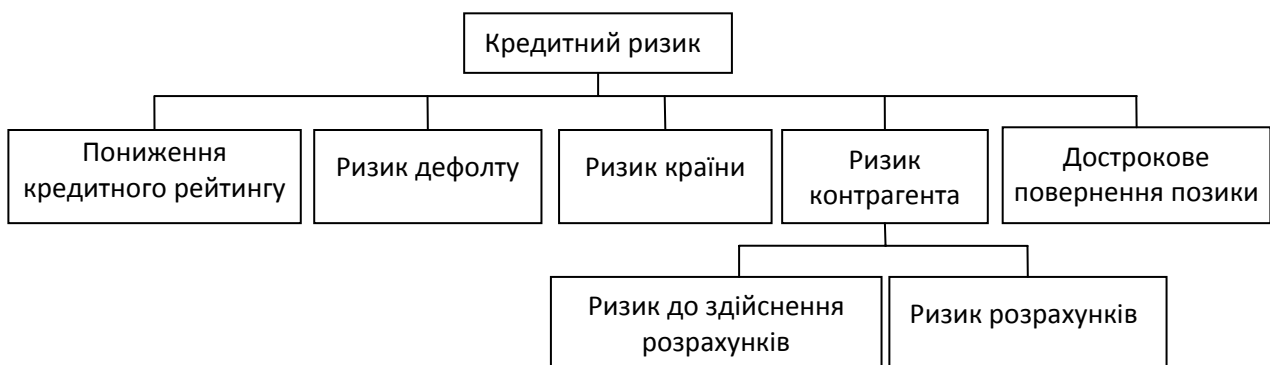


Рис. 1.2. Класифікація кредитного ризику

Ризик дефолту – невиконання контрагентом через нездатність або небажання умов кредитної угоди або ринкової операції.

Ризик країни або суверенний ризик виникає в тих випадках, коли унаслідок дій держави (наприклад, при здійсненні заходів валютного контролю) стає неможливим виконання контрагентами своїх зобов'язань. Якщо ризик дефолта обумовлений в основному специфікою компанії, то ризик країни – специфікою країни, державного контролю, макроекономічного регулювання і управління.

Ризик контрагента є елементом невизначеності при виконанні контрагентом своїх договірних зобов'язань, пов'язаних з поверненням позикових коштів.

Ризик до здійснення розрахунків (presettlement risk) – це можливість втрат через відмови контрагента від виконання своїх зобов'язань протягом терміну дії операції, поки за нею ще не здійснені розрахунки. Цей вид кредитного ризику характерний, як правило, для тривалих часових інтервалів: від моменту укладення угоди до здійснення розрахунку.

Ризик розрахунків (settlement risk) – це можливість неотримання грошових коштів у момент здійснення розрахунку по операції через дефолт або недостачу ліквідних засобів у контрагента, а також через операційні збої. Іншими словами, це ризик того, що розрахунки по операції не будуть виконані вчасно. Даний ризик, пов'язаний з рухом грошових коштів, проявляється на відносно коротких інтервалах часу. Необхідно відзначити, що розрахунковий ризик значно збільшується при здійсненні операцій між контрагентами, що знаходяться у різних часових зонах.

Інший підхід щодо класифікації кредитних ризиків розроблений Міжнародною асоціацією дилерів по свопах і похідних інструментах (International Swap and Derivatives Association — ISDA). Найбільш типовим проявом кредитного ризику є кредитна подія (credit event) – зміна кредитоспроможності позичальника або кредитної Зеленої книжки "якості" фінансового інструменту, настання якого характеризується чітко певними умовами.

ISDA визначає шість різних видів кредитної події [14]:

1) *банкротство, під яким розуміють:*

- ліквідація підприємства (за винятком злиття);
- неплатоспроможність (неспроможність) підприємства;
- переуступання прав вимоги (цесія);
- порушення справи про банкрутство в суді;
- призначення зовнішнього управляючого майном боржника;
- накладення арешту третьою стороною на все майно боржника.

2) *дострокове настання терміну виконання зобов'язання (obligation acceleration)*, яке означає оголошення дефолту (відмінного від невиклати належної суми) за будь-яким іншим аналогічним зобов'язанням даного позичальника і набуття чинності зауваження про дострокове настання терміну виконання даного зобов'язання;

3) *дефолт за зобов'язаннями (кросс-дефолт)*, який означає оголошення дефолту (відмінного від невиклати належної суми) за будь-яким іншим аналогічним зобов'язанням даного позичальника;

4) *неплатоспроможність*, що має на увазі невиклату позичальником певної (обумовленої вищої) суми в строк (після закінчення обумовленого пільгового періоду);

5) *відмова або мораторій*, при якому контрагент відмовляється від здійснення платежу або доводить юридичну силу зобов'язання;

6) *реструктуризація заборгованості*, що викликає за собою односторонню відмову, відстрочення або зміну графіка погашення заборгованості на менш вигідних умовах.

Окрім цього, кредитною подією інколи можуть бути визнані і такі факти:

1) *пониження або відкликання рейтинговим агентством кредитного рейтингу позичальника*;

2) *неконвертованість валюти, викликана введеними державою обмеженнями*;

3) *дії державних органів, під якими розуміються: а) заяви або дії уряду або регулюючих органів, що ставлять під загрозу юридичну силу зобов'язання, або б) війна або військові дії, що перешкоджають здійсненню діяльності уряду або банківської системи*.

Також можна класифікувати за джерелом прояву (саме цей підхід взятий за основу класифікації кредитних ризиків суб'єктів ЕР – див. рис. 1.1). Приведемо визначення даних ризиків.

Зовнішній ризик обумовлений оцінкою платоспроможності, надійності контрагента, імовірності оголошення ним дефолту і потенційних втрат у разі дефолту.

Ризик контрагента – ризик невиконання контрагентом своїх зобов'язань;

Ризик країни – ризик того, що всі або більшість контрагентів (включаючи органи влади) в даній країні не зможуть виконати свої фінансові зобов'язання через яку-небудь внутрішню причину.

Ризик концентрації портфеля – ризик незбалансованого розподілу засобів між різними галузями промисловості, регіонами або контрагентами.

Внутрішній ризик зв'язаний з особливостями кредитного продукту та можливих втрат по ньому внаслідок невиконання контрагентом своїх зобов'язань.

Ризик заміщення позичальника – ризик втрати частини номінальної суми боргу, так званої вартістю заміщення (replacement value), при здійсненні операцій з оборотними борговими зобов'язаннями, наприклад, з форвардами, свопами, опціонами тощо, внаслідок неможливості виконання контрагентом по операції своїх зобов'язань. Якщо в цей час відбувається зміна процентних ставок або валютних курсів, то кредитор буде змушений понести додаткові витрати для відновлення грошового потоку.

Ризик завершення операції – ризик невиконання контрагентом своїх зобов'язань в строк або виконання із запізненням.

Ризик забезпечення кредиту – ризик втрат, пов'язаних із зниженням ринкової вартості забезпечення позики, неможливості вступу до прав володіння заставою тощо.

Ризик ліквідності (liquidity risk) поділяється на:

а) *ризик ринкової ліквідності (market liquidity risk)* – можливість втрат, викликаних неможливістю купити або продати актив у необхідній кількості за досить короткий період часу через погіршення ринкової кон'юнктури;

б) *ризик балансової ліквідності (funding liquidity risk)* – можливість виникнення дефіциту готівкових засобів або інших високоліквідних активів для виконання зобов'язань перед контрагентами.

Операційний ризик (*operational risk*). На відміну від ринкового та кредитного ризиків однозначне визначення операційного ризику навряд чи існує серед фінансових фахівців. Це наводить до різних поглядів на зміст таких ризиків і способи управління ними. Можна виділити чотири поширені точки зору:

1) *до операційних ризиків відносяться інші види фінансових ризиків, що відрізняються від ринкових і кредитних.* Таке визначення є широким і включає також бізнес-ризик, що охоплює такі аспекти ведення бізнесу, як вибір стратегії розвитку, позиціонування на ринку, компетентність менеджменту, ноу-хау, способи реалізації конкурентних переваг і т. д.;

2) *операційний ризик виникає при здійсненні фінансових операцій.* Його джерелом можуть бути помилки фронт-, мідл- і / або бек-офісу при обробці даних, збої інформаційно-комунікаційних систем, технологічні неполадки устаткування, некоректного виконання операцій. Даний підхід фокусується на процедурі виконання операцій за всіма стадіями їх обробки, проте не враховує ризики, пов'язані з шахрайством усередині організації, несанкціонованим здійсненням операцій, неправильним використанням моделей для оцінки фінансових інструментів;

3) *під операційним ризиком розуміються ті ризики (виключаючи бізнес-ризик), які виникають у результаті неефективності внутрішньої системи контролю в організації.* Проте сюди не можна віднести, наприклад, зовнішнє шахрайство, природні катастрофи, злам системи безпеки;

4) *операційний ризик — це ризик прямих або непрямих збитків у результаті невірної побудови бізнес-процесів, неефективності процедур внутрішнього контролю, технологічних збоїв, несанкціонованих дій персоналу або зовнішньої дії.*

У 2001 р. Базельський комітет запропонував власне визначення операційного ризику, яке отримало загальне визнання. Згідно останньої редакції Нової Базельської угоди: «операційний ризик визначається як ризик виникнення збитків у результаті недоліків або помилок в ході здійснення внутрішніх процесів, допущених з боку співробітників,

функціонування інформаційно-комунікаційних систем і технологій, а також унаслідок зовнішніх подій». Дане визначення прийнято всіма учасниками ринку як стандартний. У цьому визначенні чітко виділяються джерела операційного ризику, по яких його можна класифікувати. Якщо за *ознаку взяти основні джерела ризику*, то такою першопричиною може бути або *персонал, або технології, або зовнішня дія* (саме цей підхід взят за основу класифікації операційних ризиків суб'єктів енергетичного ринку).

Проте ряд крупних зарубіжних фінансових інститутів використовує *класифікацію операційних ризиків*, запропоновану Bankers Trust, яка складається з наступних категорій [13]:

- *ризик персоналу* – всі ризики, які пов'язані із співробітниками компанії, зокрема їх несанкціоновані дії, недостатня компетентність, залежність від окремих фахівців тощо;
- *технологічний ризик* – ризик, викликаний збоями і відмовами інформаційних систем, програм або баз даних, систем передачі інформації і іншого устаткування, необхідного для діяльності компанії;
- *ризик фізичного збитку* – ризик, що настає в результаті природних катастроф і інших чинників, які можуть завдати збитку основному обладнанню, системам, технологіям і ресурсам компанії. Такий ризик, зазвичай, мінімізується шляхом страхування майна;
- *ризик взаємовідносин* – ризик, що настає у результаті стосунків при здійсненні бізнес-процесів, таких як труднощі при взаємодії з клієнтами і недостатність внутрішнього контролю;
- *зовнішній ризик* – ризик, що настає у результаті зловмисних дій сторонніх організацій, фізичних осіб, а також у результаті зміни вимог регулюючих органів.

У окрему групу можна виділити ризик неадекватності моделі (модельний ризик), під яким розуміється використання некоректної математичної моделі для оцінки та управління фінансовими ризиками. Причинами такого ризику є вже розглянуті вище некомпетентність фахівців

(ризик персоналу) при використанні складних фінансових інструментів (ризик стосунків) і недоліки автоматизованих програмних застосувань (*технологічний ризик*).

Але слід зазначити, що не дивлячись на поширеність такої класифікації, в ній складно визначити класифікаційну ознаку.

Ризик бізнес-процесу ([business] process's risk) — можливість непередбачених втрат унаслідок форс-мажорних обставин, змін законодавства, дій державних органів тощо. До даної групи ризиків, зазвичай, відносять юридичні, бухгалтерські й податкові ризики, ризик репутації, ризик дій регулюючих органів тощо.

В якості узагальнення викладеного вище дослідження, слід констатувати, що визначення сутності та класифікація ризиків в межах кожної групи значною мірою залежить від галузевої приналежності, оскільки тут значний вплив роблять такі чинники, як особливості технологічних циклів і циклів реалізації продукції, специфічність активів суб'єктів господарювання, динаміка науково-технічного прогресу в галузі, моделі економічного розвитку і багато що інше.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Які основні групи ризиків широко представлені в міжнародній практиці ризик-менеджменту різних галузей економіки?
2. Охарактеризуйте сутність ринкового ризику та наведіть приклади основних складових.
3. Охарактеризуйте сутність кредитного ризику та наведіть приклади основних складових.
4. Які кредитні події Вам відомі?
5. Чим відрізняється ризик ринкової ліквідності від ризику балансової ліквідності?
6. Які основні погляди існують при визначенні змісту операційного ризику?
7. Наведіть приклади джерел формування ризику неадекватності моделі.
8. Наведіть приклади основних складових ризику бізнес-процесу.

1.5 Методична основа побудови «дерева цілей» ризик-менеджменту

Термін **“ціль”** і пов'язані з ним поняття доцільності, цілеспрямованості лежать в основі уявлень про розвиток системи. Аналіз визначення цілі засвідчує, що залежно від стадії пізнання об'єкта, етапу аналізу у цей термін вкладають різний зміст – від ідеальних устремлінь, що виражають активну свідомість окремих осіб або соціальних систем, до конкретних цілей-результатів. У першому випадку можуть формулюватися цілі, досягнення яких є неможливим, але до яких можна безупинно наближатися. У другому – цілі мають бути досяжними в межах певного інтервалу часу і формулюються іноді навіть у термінах кінцевого продукту діяльності. В окремих визначеннях ціль ніби трансформується, набуваючи різних відтінків у межах умовної шкали – від ідеальних устремлінь до матеріального втілення.

Ціль – це результат, якого можна досягти протягом доступного для спостереження і передбачуваного періоду. Цілі можуть виникати на основі взаємодії між різноманітними зовнішніми та внутрішніми факторами, що впливають на поведінку та розвиток системи.

Вивчення процесів формулювання узагальнюючої, глобальної цілі у складних економічних системах засвідчує, що вона виникає у свідомості керівника або колективу не як одиничне поняття, а як певна, достатньо "розмита" область. При цьому досягти однакового розуміння цієї узагальнюючої цілі всіма виконавцями, очевидно, принципово неможливо без її деталізації у вигляді упорядкованого (структура) або неупорядкованого набору одночасно виникаючих взаємозалежних підцілей, які роблять її зрозумілою та більш конкретною для різних виконавців. Тому завдання формулювання узагальнюючої цілі в складних системах не тільки може, а й має бути зведеним до задач структуризації або декомпозиції цілі.

Декомпозиція цілі на підцілі здійснюється на основі відповідей на такі головні питання:

- *хто досягає цілі;*
- *де вона досягається;*
- *як (за допомогою чого) вона реалізується;*
- *коли вона досягається;*
- *що саме досягається.*

Для успішного формулювання цілей потрібен значний обсяг знань і досвіду, оскільки на цьому етапі необхідно суттєво виходити за межі об'єкту дослідження.

Міжнародна теорія та практика висунули та вдосконалили широкий спектр евристичних методів формування та аналізу цілей. До таких методів відносяться "метод мозкової атаки", "метод альтернативних стратегій майбутнього", "метод кібернетичних сесій", "метод вправ дилетантів", "метод Дельфи" та інші.

Досвід показує, що тільки використання сукупності методів надає можливість визначити цілі, що відповідають вимогам, що існують щодо цілей розвитку та цілей управління.

Процес встановлення цілей передбачає чотири етапи:

1. Встановлення і аналіз тенденцій середовища, в якому знаходиться суб'єкт господарської діяльності.
2. Визначення цілей суб'єкту господарської діяльності в цілому.
3. Побудова ієрархії цілей в цілому.
4. Встановлення індивідуальних цілей.

Щоб уникнути помилок у виборі цілі, важливо не тільки сформулювати останню, а й проаналізувати, з'ясовуючи, у першу чергу, її відповідність об'єкту та суб'єкту управління. Зокрема, необхідно перевірити, чи задовольняє висунута ціль основним якісним вимогам, до яких можна віднести:

- *комплексність;*
- *узгодженість;*
- *реальність;*

- *системність*;
- *перспективність*;
- *досяжність*;
- *вимірюваність*.

Комплексність означає, що ціль має охоплювати всі основні аспекти проблемної ситуації. Тобто вона не повинна суперечити відомим аспектам вирішуваної проблеми. Якщо цієї вимоги не дотримуватися, то розв'язавши одну проблему, можна в результаті отримати більш серйозну проблему або взагалі не досягти висунутої мети внаслідок дії неврахованих факторів.

Узгодженість, або коректність, цілі означає несуперечність компонентів цільової системи. Прикладом неузгодженості цілей може служити така досить поширена постановка – досягти максимального ефекту за мінімуму витрат. Тут є дві суперечливі цілі, тому що протилежні екстремуми за цими двома критеріями ніколи не збігаються. Подібна ціль є просто нереальною, оскільки в ній порушується принцип граничної ефективності, відповідно до якого існує верхня межа ефективності будь-якої системи з обмеженими ресурсами. На практиці навряд чи можливо досягти будь-якого корисного результату без певних витрат. Частіше за все співвідношення цих суперечливих критеріїв відбивається деяким функціональним взаємозв'язком кривої, для якої характерні збіг, як правило, нульового ефекту (E) з нульовим рівнем витрат (B), а також зниження темпів приросту ефекту (ΔE) зі збільшенням витрат (ΔB) (рис. 1.3).

Тому один із критеріїв, наприклад, витрати, має застосовуватися як обмеження, а другий - як цільова функція або просто ціль. Правильно сформульована ціль в цьому разі може бути такою: досягти максимуму ефекту (E) при заданому припустимому рівні витрат (B), тобто:

$$E = E_{\max} \quad \text{при} \quad B < B_{\text{прип}} \quad (1.4)$$

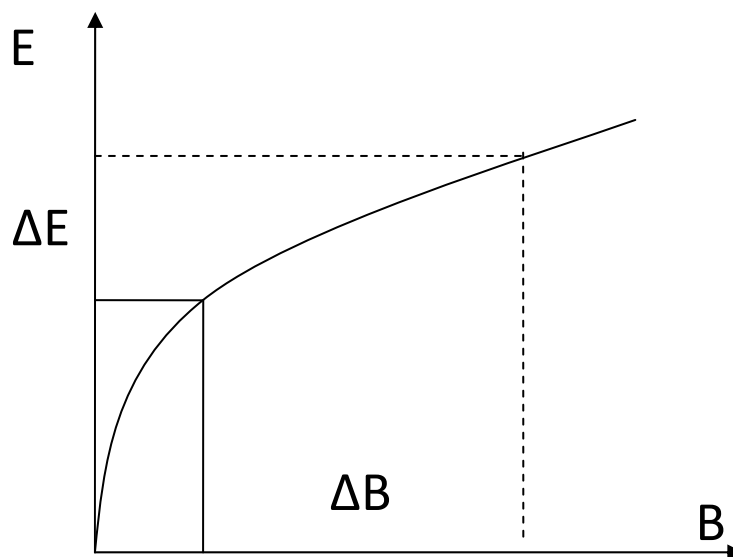


Рис. 1.3. Функціональний зв'язок між ефектом і витратами

При цьому обмеження витрат не має задаватися довільно, як це нерідко буває на практиці. Зокрема, обґрунтована величина припустимих витрат має відповідати їх граничному значенню, за якого подальші витрати не виправдовуються приростом ефекту.

За наявності такого обмеження ми досягаємо умовного максимуму ефекту. Він може не відповідати теоретичному екстремальному значенню, яке досягається при перевищенні граничного значення рівня витрат. Якщо ефект і витрати вимірюються в одних і тих самих одиницях, наприклад, у гривнях, задачу можна сформулювати як пошук екстремального значення різниці $E - B$ або іншого так званого суперкритерію, який виражає єдину комплексну ціль. Таким чином, узгодження цілі тісно пов'язується з її комплексністю.

Реальність цілі означає можливість її досягнення при фіксованих умовах реалізації. Ця вимога є обов'язковою для конкретної проблемної ситуації, коли треба планувати процес її досягнення, але вона аж ніяк не унеможливорює постановки ідеальних цілей, які здаються тільки мрією або фантастикою, для віддалених у часі перспективних ситуацій.

Системність цілі забезпечує її зв'язок з усім комплексом інших управлінських проблем у даній системі.

Перспективність цілі визначає рівень можливої корисності результатів, що можливо буде отримати при досягненні тієї чи іншої цілі, порівняно з іншими цілями.

Досяжність цілі показує успішність проходження повного шляху до поставленої цілі (реалізації стратегії) та можливість виконання передумов впродовж періоду, що виділено на стратегію.

Вимірюваність цілі передбачає наявність певної метрики, одиниць виміру, кількісних характеристик, що надають можливість кількісно та якісно (з використанням відповідних методик) оцінити числові характеристики цілі.

Структура (ієрархія) та класифікація цілей

Ієрархія цілей – це декомпозиція (розукрупнення) цілей більш високого рівня в цілі нижчого рівня, тобто це "дерево цілей", де встановлюються конкретні задачі, що лежать в основі конкретних видів робіт. При цьому цілі верхнього рівня не можуть бути досягнуті, поки не будуть реалізовані цілі найближчого нижнього рівня.

В ієрархічній структурі в міру переходу з верхнього рівня на нижній відбувається своєрідний зсув розглянутої вище шкали від цілі-напрямку (цілі-ідеалу, мрії) до конкретних цілей, які на нижньому рівні ієрархії можуть виражатися у формі очікуваних результатів конкретної роботи з указівкою критеріїв оцінки її виконання, у той час, як критерії верхніх рівнів ієрархії можна виразити або як загальні вимоги (наприклад, "підвищити ефективність..."), або взагалі не вказувати.

Для того щоб не створювати труднощів при сприйнятті структури, зазвичай, рекомендується вважати одним деревом цілей ту її частину, що може бути сформульована однією мовою. Цілі вищерозташованих рівнів у цьому дереві деталізуються, переформулюються в більш конкретні підцілі, але в термінах тієї самої мови, наприклад, політичної або економічної. Потім, якщо необхідно перейти до іншої мови

(наприклад, з політичної на економічну або з економічної на технічну, інженерну тощо), зручніше вважати декомпозицію, що продовжується, належною до іншого дерева цілей. Іноді таке відокремлення дерев одне від одного збігається з поділом системи на підсистеми або з організаційною ієрархією системи управління. При цьому не варто прагнути неодмінно продовжити побудову попереднього дерева, а можна будувати нове, тому що структуризація – це метод дослідження цілей для кращого їх розуміння, а не самоціль.

Таким чином, для того щоб структура цілей була зручною для аналізу й оцінювання, до неї рекомендується ставити деякі загальні вимоги:

- а) розподіл цілей за рівнями ієрархії має бути рівномірним ("рівномірна структуризація"), а виділені частини, по можливості, логічно незалежними;*
- б) підстави (ознаки) декомпозиції (при структуризації зверху) або ознаки, що об'єднують підцілі (при формуванні структури знизу), у межах одного рівня ієрархії мають бути незмінними.*

Ці вимоги не завжди можуть бути виконані одночасно. Іноді виникає потреба змішувати ознаки декомпозиції задля забезпечення рівномірності структури.

При формуванні ієрархічної структури варто враховувати обмеження можливостей пам'яті людини. Зазвичай, дослідники (*гіпотеза Міллера, число Колмогорова*) для того щоб людина могла зберегти уявлення про цілісність і встигати аналізувати й порівнювати виділені частини системи, рекомендують подавати їй одночасно не більше, ніж 7 ± 2 компоненти. Практично для дерев цілей це означає, що варто прагнути до того, аби на кожному рівні ієрархії кількість гілок, що підпорядковуються одному вузлу (вершині), не перевищувала б сімох – дев'ятьох. Ця ж рекомендація стосується й кількості рівнів ієрархії в дереві.

Цілі будь-якої системи поділяють на *зовнішні* та *внутрішні*. Перші задаються зовнішнім середовищем системи, другі – формуються всередині й реалізуються в самій системі, визначаючи множину її бажаних станів.

Часто розрізняють *суб'єктивні* та *об'єктивні* цілі. *Суб'єктивна* *ціль* – це суб'єктивний погляд дослідника (керівника, власника) на бажаний майбутній стан системи. *Об'єктивна* *ціль* – це майбутній реальний стан системи, тобто стан, до якого буде переходити система при заданих зовнішніх умовах і керівних впливах. Суб'єктивні й об'єктивні цілі системи у загальному випадку можуть розрізнятися. Зокрема, вони не збігаються, якщо система є погано дослідженою або якщо суб'єкт, який визначає цілі, недостатньо обізнаний із закономірностями функціонування системи чи ігнорує їх.

Загальну ціль системи має бути сформульовано таким чином, щоб задовольняти зовнішні вимоги (цілі) через реалізацію бажаних внутрішніх станів системи.

Цілі складних систем, зазвичай, поділяють на дві категорії:

- 1) *цілі стабілізації*, тобто спрямовані на збереження досягнутого стану системи (рівнів виробництва, технічних параметрів тощо);
- 2) *цілі розвитку*, тобто спрямовані на наближення стану системи до бажаного рівня та вдосконалювання її структури.

За своїм призначенням, напрямом, терміном та ієрархією цілі класифікуються:

- *за спрямованістю дії* – цілі зовнішні та внутрішні;
- *за напрямом діяльності підприємства* – економічні (інноваційні, фінансові, інвестиційні), техніко-технологічні, соціальні, екологічні;
- *за можливістю їх повного здійснення* – цілі створення (об'єкт, система) та цілі розвитку (процес);
- *за охопленням рівнів управління* – цілі всього підприємства, окремих підрозділів, груп, індивідів;
- *за часовими характеристиками* – коротко- (1 рік), середньо- (2 – 5 років) та довгострокові (5 і більше);
- *за відповідною спрямованістю на види діяльності* – стратегічні, тактичні, оперативні;

- *за ступенем оновлення* – цілі підтримки наявного рівня, цілі поступового розвитку окремих елементів системи, цілі оновлення;
- *за впливом на окремі елементи підприємства* – виробничі та управлінські;
- *за характером діяльності* – цілі функціонування та цілі розвитку;
- *за пріоритетами* – основні, побічні, підтримуючі;
- *за вимірюваністю* – кількісні, якісні.

Система цілей господарської діяльності суб'єктів ЕР має досить складну структуру та різноманітну спрямованість (зовнішньо та внутрішньо спрямовані).

Основи побудови „дерева цілей”

Сукупність цілей, що послідовно дробляться до рівня цілей підсистем та окремих елементів, називають **деревом цілей**. Вона може бути сформульована кількісно та якісно. Але в будь-якому разі варто спробувати виразити якісну ціль деякими кількісними параметрами. При цьому бажано використовувати для всіх таких параметрів однакові одиниці виміру (гроші, час тощо).

Дерево цілей подібне до деякого каркаса і може застосовуватися для вирішення споріднених за змістом комплексних проблем (наприклад, побудови дерева рішень, дерева ресурсів тощо).

Побудова дерева цілей підкоряється певним логічним правилам, і її можна поділити на такі чотири етапи:

- 1) Розробка сценарію чи систематизованого опису майбутніх умов функціонування системи.
- 2) Побудова робочого варіанта дерева цілей на основі розробленого сценарію, йдучи зверху вниз за рівнями, що знижуються, так, щоб заходи нижчого рівня забезпечували пов'язану з ними більш загальну мету.
- 3) Оцінка дерева цілей, що полягає в ідентифікації (уточненні) і квантифікації (зведенні якісних характеристик до кількісних) цілей. Потрібну інформацію для цих дій надають експерти.

4) За результатами попереднього етапу роблять переоцінку цілей та їх зв'язків, установлюють критерії й вагові коефіцієнти, виконують розрахунки.

Прийоми, що застосовуються при побудові деревоподібних ієрархічних структур цілей, можна звести до двох класів:

- а) формування структур зверху – методи декомпозиції, цільовий, або цілеспрямований підхід;
- б) формування структур цілей знизу – морфологічний, лінгвістичний, термінальний підходи або метод "мови системи".

На практиці, зазвичай, ці підходи поєднують.

Основне правило побудови "дерева цілей" – це "повнота редукції".

Повнота редукції – процес зведення складного явища, процесу або системи до більш простих складових. При цьому *цілі вищого рівня є основою для розробки цілей нижчого рівня, а цілі нижчого рівня є засобами досягнення цілей вищого рівня.*

При побудові "дерева цілей" використовується "метод дезагрегації для формалізованих цілей" (рис 1.4) та "метод забезпечення необхідних умов для всіх типів цілей" (рис. 1.5).

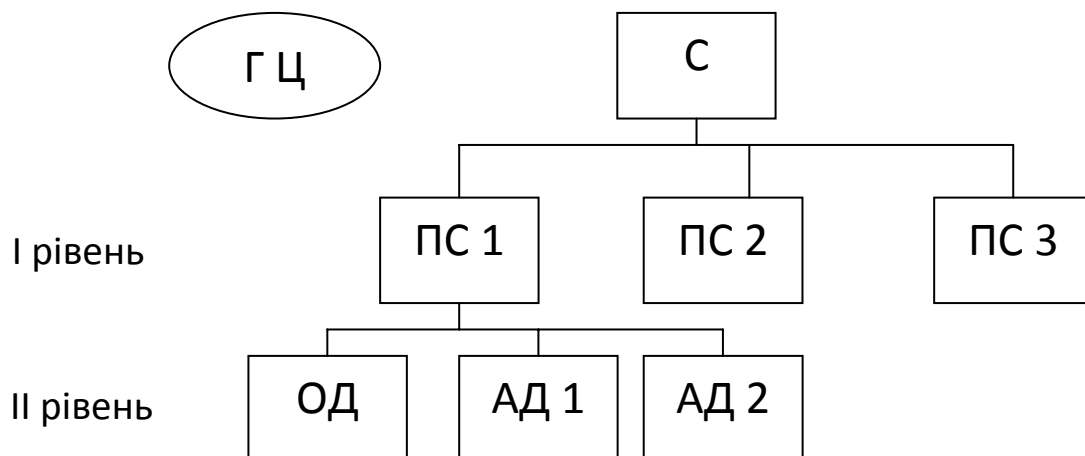


Рис. 1.4. Побудова "дерева цілей" за "методом дезагрегації"

Далі побудову „і/або” виконують за тими ж правилами: кожна з цілей поділяється на елементи та кожен з них створюється комплекс альтернативних дій для їхнього досягнення.

Ієрархія цілей відповідає на запитання про відповідальність за досягнення різних цілей завдяки встановленню взаємозв'язку між ієрархічними рівнями суб'єктів ЕР та цілей.

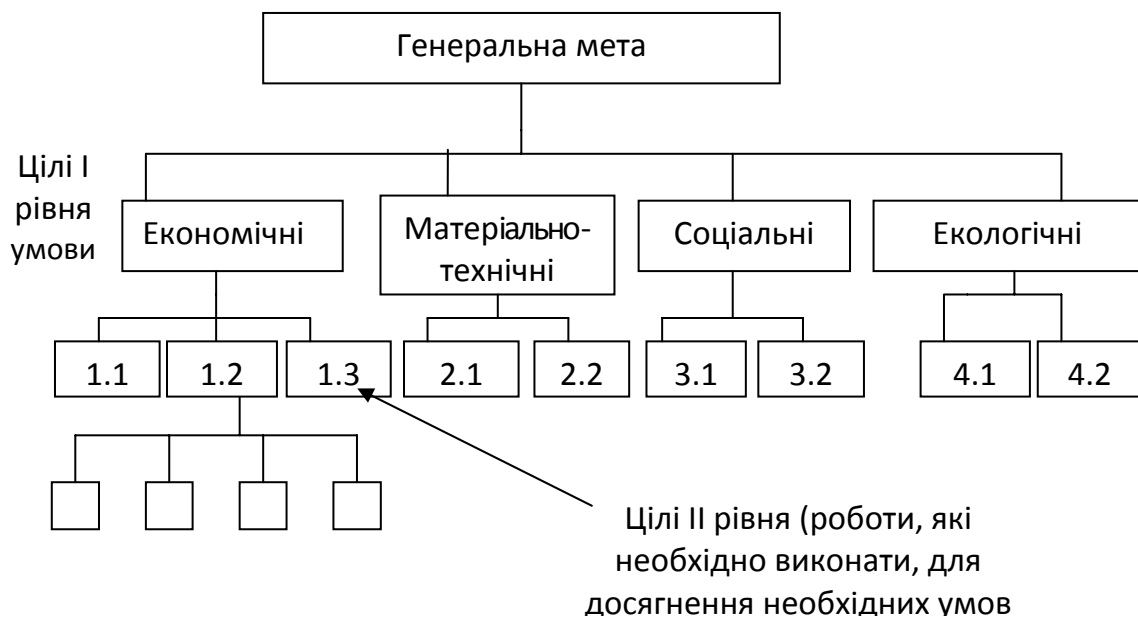


Рис. 1.5. Побудова "дерева цілей" за "методом забезпечення ..."

Критерії досягнення цілі

Величини, що розкривають ступінь наближення до цілі, виражений у кількісному або якісному вигляді в певній шкалі вимірювань є **критеріями досягнення цілі** (критерії ефективності). У загальному випадку за допомогою критеріїв оцінюють якість виконання системою своїх функцій.

При визначенні цілей і підцілей можливі ускладнення у формулюванні критерії їх досягнення. Однієї підцілі може відповідати більше, ніж один критерій. Тому іноді будують окреме дерево критеріїв, що відображає дерево цілей.

Конкретне числове значення критерію визначає рівень досягнення цілі, ефективність використаних для цього методів і засобів. Ціль та критерій можуть збігатися, тоді останній є єдиним вимірником цілі. Проте подібне має місце у відносно простих випадках, коли ціль є однозначною, а критерій – це та сама, але вимірювана єдиним засобом ціль. Критерії, що використовують у системному аналізі, можна поділити на дві категорії:

- оптимізаційні (найкращий варіант вирішення відповідає максимальному або мінімальному значенню цього критерію);
- обмежувальні (за їх допомогою встановлюється діапазон припустимих значень найважливіших характеристик системи).

Серед оптимізаційних критеріїв, у свою чергу, можна виділити:

- *прості*, що складаються з одного показника (максимум прибутку, мінімум витрат, збитків, ризику тощо);
- *комплексні*, що включають декілька показників, наприклад, критерії типу вартість – ефект.

Для розв'язання багатокритеріальних задач використовують різноманітні підходи, найбільш поширеними з яких є:

- введення суперкритерію, що є функцією складових простих критеріїв;
- визначення головного критерію та знаходження значень параметрів, які відповідають його максимальним чи мінімальним значенням, за умови, що значення інших критеріїв знаходяться у заданих межах;
- встановлення множини оптимальних рішень за співвідношенням Паретто з наступним її аналізом за допомогою інших формальних або неформальних процедур.

Для багатокритеріальних складних систем одразу підібрати ефективний критерій, звичайно, не вдасться. Тому спочатку беруть пробні критерії й аналізують наслідки одержуваних за ними рішень. Якщо останні є незадовільними, то підбирають інші критерії. При цьому слід

ураховувати, що критерії, які застосовуються для вирішення завдань нижчого рівня, мають бути узгоджені з критеріями більш високого рівня.

Правильний вибір оціночних критеріїв значною мірою визначає успішність функціонування складних систем. Вони мають:

- відображати основні, а не другорядні цілі системи та враховувати всі головні сторони її діяльності;
- бути достатньо, але не занадто чутливими до зміни досліджуваних параметрів.

Процес формування критеріїв має йти зверху вниз, а потрібна інформація – у протилежному напрямку.

Між критеріями має місце таке саме співвідношення, як і між цілями різних рівнів ієрархії. Тому подібно до дерева цілей можна побудувати дерево критеріїв.

Щоб цілі були конкретними й можна було судити про їх досягнення, недостатньо обмежитися їх словесним формулюванням, а необхідно ввести певні характеристики: критерій досягнення цілі (або просто критерій), показники та пріоритети. Критерій ніби доповнює ціль, надає можливість оцінити, наскільки досягаємо її у тому чи іншому конкретному випадку. Критерії виражаються в якісній або кількісній формах. Кількісні критерії надають змогу більш точно визначити ступінь наближення до цілі, тому за можливості слід використовувати саме їх. У загальному випадку для складної системи формулюють систему цілей і, відповідно, систему критеріїв їх досягнення. Серед тих, що використовуються сьогодні, найбільш уживаними є критерії типів:

- 1) "вартість – ефект", які зіставляють витрати з досягнутими результатами;
- 2) елімінуючі, що встановлюють діапазони бажаних значень найважливіших характеристик системи;
- 3) зважуючі, що ґрунтуються на використанні коефіцієнтів відносної важливості різноманітних чинників, які впливають на вирішення проблеми.

Обраний критерій має враховувати основні параметри системи, бути чутливим до зміни досліджуваних розмірів. Показники ступеня досягнення цілі відрізняються від критеріїв тим, що останні фіксують визначений кількісний рівень, а перші – значення, яке відповідає тому або іншому моменту часу, тобто певному стану системи на траєкторії руху до цілі. Показники змінюють своє значення з часом, а критерії – ні.

Оцінити якість функціонування системи за багатьма критеріями набагато важче. Крім того, значна частина ефекту від діяльності великої соціально-економічної чи організаційної системи реалізується поза нею. Такі непрямі ефекти важко виявити й тим більше підрахувати. Наприклад, прискорення доставки вантажів створює ефект не тільки всередині транспортної галузі, а й у її користувачів.

Для багатокритеріальних складних систем одразу підібрати ефективний критерій, звичайно, не вдасться. Тому спочатку беруть пробні критерії й аналізують наслідки одержуваних за ними рішень. Якщо останні є незадовільними, то підбирають інші критерії. При цьому слід ураховувати, що критерії, які застосовуються для вирішення завдань нижчого рівня, мають бути узгоджені з критеріями більш високого рівня.

Правильність побудови дерева цілей перевіряють за допомогою таких процедур.

1. Загальна експертна оцінка структури дерева цілей: отримана структура оцінюється різними групами експертів, висновки яких є основою для внесення обґрунтованих коректив.

2. Перевірка за сценарієм: після побудови дерева цілей раніше (апріорі) створений сценарій необхідно скоректувати. Після цього може виникнути необхідність у коректуванні дерева цілей.

3. Перевірка на часовому зрізі: за всіма галузями і рівнями дерева перевіряють досяжність кожної цілі за відведений для цього період часу. Якщо в якій-небудь гілці знайдеться елемент, проміжна (часткова) ціль якого є недосяжною, то відповідна гілка викреслюється. Якщо ж, навпаки, якісь цілі нижнього рівня можуть бути виконані раніше від наміченого

терміну, це може стати приводом для їх укрупнення, після чого буде потрібно відкоригувати цілі більш високих рівнів.

Перевірка дерева цілей і його фрагментів на повноту: логічний аналіз засобів досягнення цілей і опитування експертів надають змогу з'ясувати, чи не упущено які-небудь засоби, потрібні для досягнення цілей у всьому дереві або його фрагментах.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Від чого залежить дефініція поняття "ціль"?
2. Що слугує основою процедури декомпозиції цілі?
3. Які евристичні методи формування та аналізу цілей Вам відомі?
4. Наведіть основні етапи процесу встановлення цілей господарської діяльності.
5. Охарактеризуйте сутність основних вимог щодо вибору цілі виробничо-комерційної діяльності.
6. Змістовно охарактеризуйте поняття "структура (ієрархія) цілей".
7. Наведіть класифікаційні ознаки типізації цілей.
8. Охарактеризуйте зміст основних етапів побудови "дерева цілей".
9. Які процедури застосовують при перевірці правильності побудови дерева цілей?
10. Охарактеризуйте зміст поняття "критерій досягнення цілі".
11. Наведіть приклади типів критеріїв досягнення цілей.
12. Які форми виразу критеріїв існують?

Розділ 2

Методологія управління ризиками суб'єктів енергетичного ринку на основі теорії ігор

2.1 Основні принципи та етапи управління ризиком

Загалом під **управлінням ризиком** розуміють процес (систему заходів) впливу на об'єкт з метою пошуку шляхів зменшення його негативних наслідків. Методологія управління ризиками базується на розробках загальної теорії ризику та ігор. Необхідною передумовою розробки ефективного механізму ризик-менеджменту є відмова від вихідного постулату про необхідність «запобігати» (defensive, reactive) або мінімізувати ризик на користь активного, «упереджувального» (proactive) управління ним. Дане положення виходить із самої сутності ризику як об'єктивної категорії.

В економічній практиці *управління ризиком* — це система заходів, спрямованих на уникнення ризику, зменшення його показників, а також: на вироблення стратегії діяльності та прийняття рішень в умовах ризикованої ситуації. Таким чином, в економіці **головна мета ризик-менеджменту** полягає у знаходженні оптимального співвідношення між ризиком і ефективністю діяльності суб'єктів господарської діяльності.

У загальному значенні *ефективність* - це здатність приносити ефект, результативність процесу, проекту тощо, які визначаються як відношення ефекту чи результату до витрат, що забезпечили цей результат.

Ефект може визначатися як: різниця між результатом й витратами; різниця між результатом; різниця між витратами.

Відносно до визначеної цілі господарської дії ефект може нести як позитивну так і негативну спрямованість. Наприклад, прибуток (+), збиток (–).

Основними **принципами управління ризиком** є:

- *принцип масштабності* – прагнення до врахування якомога більшої кількості сфер можливого виникнення ризиків;
- *принцип мінімізації* – необхідність зменшення спектра проявів ризиків і ступеня їх впливу;
- *принцип адекватності реакції* – необхідність швидко і ефективно реагувати на зовнішні зміни в ризикованій ситуації;
- *принцип розумного прийняття* – прийняття ризику тільки у випадку його обґрунтованої необхідності.

Основними **етапами управління ризиком** є:

- 1) ідентифікація (виявлення) ризику;
- 2) оцінка ризику;
- 3) вибір методів й інструментів управління ризиком;
- 4) запобігання і контроль ризику;
- 5) фінансування ризику;
- 6) оцінка результатів.

Перші два етапи є складовими процесу аналізу ризику. Аналіз ризиків може здійснюватись якісними і кількісними методами.

Якісний аналіз проводиться у двох основних напрямках:

- 1) порівняння позитивних результатів від вибраного ризикованого виду діяльності з можливими негативними наслідками цього вибору;
- 2) визначення ступеня впливу (позитивного та негативного) рішень суб'єкта на інтереси інших суб'єктів.

При кількісному аналізі визначають (чи оцінюють) величину втрат (абсолютну чи відносну) та ймовірність, з якою можуть відбутися ці втрати.

Ідентифікація ризику відноситься до якісного аналізу, а оцінка ризику до кількісного аналізу (статистичні методи, аналіз доцільності затрат,

метод експертних оцінок, аналітичні методи: аналіз чутливості моделі, аналіз величини відносних ризиків, метод аналогій).

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Визначте сутність процесу управління ризиком.
2. Що є основною метою управління ризиком в економіці?
3. Чим відрізняється поняття «ефективність» від «ефекту»?
4. Які основні принципи лежать в основі ризик-менеджменту?
5. Охарактеризуйте основні етапи управління ризиком.
6. Основні завдання якісного та кількісного аналізу ризику?

2.2 Аналіз методів управління ризиком

Основними методами зниження ризиків в економіці незалежно від галузевої специфіки є [3]:

- *страхування;*
- *резервування (самострахування);*
- *хеджування;*
- *розподіл;*
- *диверсифікація;*
- *мінімізація;*
- *вирівнювання ризику;*
- *уникнення (відмова від пов'язаної з ризиком операції).*

Перераховані методи розрізняються за своїм економічним змістом, що полягає у передачі ризику третій особі (при страхуванні, гарантуванні, хеджуванні і розподілі) або у залишенні його на власному утриманні (при резервуванні, диверсифікації або мінімізації).

У задачах енергетики вибір конкретної комбінації методів повинен бути індивідуальним для кожної енергокомпанії та споживачів енергії залежно, по-перше, від специфіки їх діяльності в загальному технологічному процесі електропостачання, а по-друге – від специфіки

прояву найбільш характерних ризиків на надійність функціонування енергокомпаній.

Проте можна виділити методи, які є загальними для всіх.

Резервування у фінансовому ризик-менеджменті є одним з основних методів управління сукупним ризиком, який не може бути переданий страховикові або поручителеві (за допомогою страхування, гарантування) або учасникам фінансового ринку (шляхом хеджування похідними інструментами) [2].

Якщо мова йде про управління ризиками електроенергетичних компаній при порушенні надійності електропостачання, то слід враховувати, що попит на електроенергію її споживачами є нерівномірний у часі, що визначається особливостями їх технологічних процесів, які можуть бути постійними, переривчастими або циклічними у часі; зміною природно-кліматичних параметрів зовнішнього середовища (зміна пори року, коливання температурного режиму атмосфери, природної освітленості протягом доби й т.п.), а також побутовим укладом населення й розпорядком трудових процесів споживачів електроенергії. Крім того, споживачі розвиваються у часі й розширюють обсяги своєї виробничо-господарської діяльності, постійно збільшуючи попит на електроенергію. Тому в кожний момент часу (протягом доби, місяця, року й декількох років) електроенергетичні компанії повинні бути готові забезпечити мінливий попит на електроенергію, що може бути здійснене тільки за умови наявності достатніх резервів електричної потужності й відповідних енергетичних ресурсів (палива на ТЕС або гідроресурсів на ГЕС).

Створення відповідних резервних потужностей і їх зміст в електроенергетичних системах вимагає досить високих поточних економічних витрат, але воно необхідно й ефективно не тільки з народногосподарської точки зору, оскільки виключає або зводить до мінімуму втрати споживачів енергії, але й з погляду фінансової безпеки самих електроенергетичних компаній, забезпечуючи їм стабільні фінансові потоки в довгочасній перспективі за допомогою відшкодування витрат

на створення й зміст резервних потужностей за рахунок більш високих тарифів на електроенергію.

Дублювання являє собою різновид методу резервування й застосовується, як правило, при управлінні технічними ризиками. Прикладами дублювання є установка на підстанціях не менш двох трансформаторів, що працюють паралельно; прокладка двохланцюгових ліній електропередачі; здійснення електропостачання відповідальних споживачів електроенергії від двох і більш незалежних джерел і т. д. У випадку виходу з ладу одного трансформатора повну або часткове його навантаження несе працюючий паралельно. При цьому ймовірність одночасного виходу з ладу двох або більш паралельно працюючих агрегатів знижується по зворотному степені залежності (за правилом добутку ймовірностей їх відмов).

Страхування є універсальним і найбільш поширеним методом управління ризиками в ринковій економіці. Під страхуванням розуміється система правових та економічних відносин між страховиком (страховою організацією) і страхувальником (господарюючим суб'єктом), регульованих державою, з відшкодування збитку страхувальникові, обумовленим проявом тих або інших погроз (ризиків). Економічна сутність страхування полягає у прийнятті страховиком ризиків виробничо-господарської діяльності страхувальника за його відповідні страхові премії (страхові тарифи), які виплачуються одноразово або частинами протягом терміну дії договору страхування.

Загальним критерієм страхування ризиків в економічних взаємовідносинах електроенергетичних компаній і споживачів їх послуг є сукупність наступних приватних умов [1]:

- наявність випадкового характеру подій (факторів), що викликає виникнення збитку;
- можливість економічної оцінки наслідків прояву ризику;
- однозначність виділення (ідентифікації) ризику;
- однорідність і множинність ризиків;
- наявність суб'єктивних інтересів прояву ризику.

Слід зазначити, що сьогодні система страхування ризиків, пов'язаних з порушенням надійності електропостачання споживачів послуг електроенергетичних компаній, у вітчизняній електроенергетиці практично відсутня, що пояснюється наступними чинниками:

- важко й досить витратна юридична процедура доведення першопричин факту порушення надійності електропостачання, враховуючи достатньо складний характер динаміки електромагнітних процесів, що відбуваються в електроенергетичних компаніях і електроенергетичному устаткуванні споживачів енергії під час аварійних ситуацій у них;
- при порушеннях надійності електропостачання споживачів енергії істотне значення мають ризик-чинники природнокліматичного характеру, розглянуті в якості форс-мажорних, внаслідок чого, не накладається правова відповідальність за їхній прояв.

Загалом страхування, як і резервування, не ставить за мету зменшення вірогідності прояву або схильності ризику, а націлено переважно на відшкодування матеріального збитку від його прояву. Страхування ризиків, зазвичай передбачає проведення попереджувальних заходів щодо зниження вірогідності настання страхових подій, але вони далеко не завжди досягають бажаної мети. Для страхування підходять масові види ризиків, до яких схильні багато економічних агентів, прояви яких не сильно корельовано між собою і відомі з високою мірою точності.

Так, наприклад, страхування кредитних ризиків – вид страхування, сутність якого полягає у зменшенні або усуненні кредитного ризику. Об'єктами страхування кредитних ризиків є: комерційні кредити, надані позичальнику або покупцю; зобов'язання за кредитом; довгострокові інвестиції тощо. Особливо виділяється страхування експортних кредитів, що охоплює ряд специфічних видів страхування, наприклад, страхування, пов'язане з наданням комерційного кредиту, витратами через вступ експортера в новий ринок, від інфляції і т.п. При цьому аналіз умов кредитування припускає вивчення:

- кредитоспроможності позичальника, що характеризується своєчасністю розрахунків за раніше отриманими кредитами, якістю наданих звітів, відповідальністю і компетентністю керівництва;
- спроможності позичальника виготовляти конкурентноспроможну продукцію;
- прибутків позичальника. При цьому провадиться оцінка прибутку, одержаного банком при кредитуванні конкретних витрат позичальника порівняно із середньою прибутковістю банку. Рівень прибутків банку має бути ув'язаний із ступенем ризику при кредитуванні. Банк оцінює розмір одержуваного позичальником прибутку з погляду можливості сплати банку відсотків при здійсненні нормальної фінансової діяльності;
- мета використання кредиту;
- сума кредиту, виходячи з проведення позичальником заходу ліквідності балансу (співвідношення між власними та позиковими засобами);
- погашення кредиту за рахунок реалізації матеріальних цінностей, наданих гарантій та використання заставного права.

Страхова сума встановлюється пропорційно зазначеному в договорі страхування відсотку відповідальності страховика, виходячи з усієї суми заборгованості (включаючи відсотки за користування кредитом).

Хеджування є способом захисту від можливих втрат шляхом укладання врівноважуючої угоди (перенесення ризику зміни ціни з одної сторони на іншу). Хеджування призначене для зниження можливих втрат вкладень унаслідок ринкового ризику і, рідше, кредитного ризику і ризику подій. Як і у разі страхування, хеджування вимагає залучення додаткових ресурсів (наприклад, сплати опційної премії або внесення маржі).

Основними методами хеджування є:

- структурне балансування активів і пасивів, кредиторської та дебіторської заборгованості;
- зміна терміну платежів;

- форвардні операції;
- операції типу "своп";
- опціоні операції;
- фінансові ф'ючерси;
- кредитування й інвестування в іноземній валюті;
- реструктуризація валютної заборгованості;
- паралельні позики та ін.

Диверсифікація є одним із способів зменшення сукупної схильності ризику шляхом розподілу вкладень і зобов'язань. Іншими словами, *диверсифікація* — вкладання капіталу в різні, не пов'язані між собою підприємства чи сфери діяльності.

Приклад 1. Проілюструємо ефективність диверсифікації наступним чином. Припустимо, що інвестор приймає рішення стосовно капіталовкладення у альтернативні енерготехнології № 1 й № 2. Відомо, що внаслідок впровадження кожної з енерготехнологій можливим є отримання прибутку на кожен вкладену тисячу гривень в умовах мінімального ризику – 40 %, в умовах середнього ризику – 20 %, а за умов критичного ризику – 30 % збитку. Інвестор має можливість вкласти гроші або в одну із технологій, або в обидві одночасно.

Для даної задачі вважатимемо, що ймовірності реалізації кожної з умов є однаковими. Яке рішення слід прийняти інвестору?

Припустимо, що інвестор вклав 1000 грн. лише в одну енерготехнологію. Тоді він може отримати прибуток у 400 грн. з ймовірністю $\frac{1}{3}$, прибуток 200 грн. з ймовірністю $\frac{1}{3}$ і «прибуток» в 300 грн. (збиток 300 грн.) також з ймовірністю $\frac{1}{3}$.

Середнє значення прибутку дорівнює:

$$\bar{X}_1 = \frac{1}{3}(400 + 200 - 300) = 100 \text{ грн.}$$

Обчислимо стандартне відхилення:

$$\sigma_1^2 = \frac{1}{3}((400-100)^2 + (200-100)^2 + (-300-100)^2) = 86667 \quad \sigma_1 = 295.$$

Припустимо тепер, що інвестор вклав по 500 грн. у кожен із енерготехнологій. Використовуючи теореми додавання та множення ймовірностей [9], маємо, що інвестор може отримати наступні прибутки:

- 400 грн. (обидві технології принесли максимальний прибуток) з ймовірністю $\frac{1}{9}$;
- 300 грн. (енерготехнологія № 1 принесла максимальний прибуток, а інша – 200 грн.) з ймовірністю $\frac{2}{9}$;
- 200 грн. (обидві технології принесли по 200 грн.) з ймовірністю $\frac{1}{9}$;
- 50 грн. (енерготехнологія № 1 принесла максимальний прибуток, а інша – збиток) з ймовірністю $\frac{2}{9}$;
- 50 грн. (одна з енерготехнологій принесла 200 грн. прибутку, а інша – збиток) з ймовірністю $\frac{2}{9}$;
- 300 грн. (обидві енерготехнології принесли збиток) з ймовірністю $\frac{1}{9}$.

Обчислимо середнє значення прибутку для другого припущення:

$$\bar{X}_2 = \frac{1}{9}(400 + 200 - 300) + \frac{2}{9}(300 + 50 - 50) = \frac{100}{3} + \frac{200}{3} = 100 \text{ грн.}$$

Обчислимо стандартне відхилення:

$$\begin{aligned}\sigma_2^2 &= \frac{1}{9}((400 - 100)^2 + (200 - 100)^2 + (-300 - 100)^2) + \\ &+ \frac{2}{9}((300 - 100)^2 + (50 - 100)^2 + (-50 - 100)^2) = \\ &= 28889 + 14445 = 43334 \quad \sigma_2 = 208.\end{aligned}$$

Як бачимо, оскільки середні значення прибутків у кожному випадку однакові, то при вкладанні коштів у обидві енерготехнології ризик є меншим.

Наведений приклад демонструє ефективність диверсифікації ризику. Більше того, можна стверджувати, що *чим більша основа диверсифікації (тобто кількість сфер вкладання коштів), тим менший ризик втрати доходів*.

Іншою формою диверсифікації є залучення засобів з різних, слабо залежних один від одного джерел. Зміст диверсифікації полягає у зниженні максимально можливих втрат за одну подію, проте при цьому одночасно зростає кількість видів ризику, які необхідно контролювати, що спричиняє за собою зростання транзакційних витрат.

Диверсифікація здійснюється найчастіше з позиції вкладання капіталу у цінні папери, однак її принципи можна застосовувати і при вирішенні питань зменшення втрат у інших сферах економічної діяльності. Тому розрізняють диверсифікацію фінансового ризику, виробничого ризику, комерційного ризику та валютного ризику. Коротко зупинимось на кожній з названих сфер застосування диверсифікації.

Диверсифікація фінансового ризику може виступати у двох варіантах.

Перший варіант стосується випадку, коли прибутки від різних активів корельовані (тобто певним чином залежні між собою). При цьому залежність може бути однаковою чи різнонаправленою (додатна чи від'ємна кореляція), тобто при зростанні величини одного з прибутків

величина другого може відповідно також зростати чи спадати. Наприклад, додатньо корельованими є прибутки теплоелектростанції та підприємства, яке поставляє їй вугілля, а від'ємно корельованими — прибутки енерговиробничого підприємства, та фірми, що реалізує імпорتنий енергоресурс.

Ефект від диверсифікації буде лише тоді, коли має місце від'ємна корельованість доходів, оскільки в цьому випадку втрати від одних активів компенсуватимуться прибутками від інших.

Другий варіант стосується випадку, коли прибутки від різних активів є некорельованими (незалежні між собою). У цій ситуації також можливі дві тенденції: або прибутки змінюються спільно (зростають чи зменшуються), або зміна відбувається у протилежних напрямках.

Наприклад, при загальному погравленні економіки доходи підприємств легкої промисловості та великих металургійних заводів зростатимуть одночасно, не зважаючи на відсутність безпосередньої залежності. Якщо ж розглянути підприємство легкої промисловості та хлібозавод в умовах погіршення економічного становища, то доходи хлібозаводів принаймні не зменшаться, водночас як підприємство легкої промисловості зазнає певних втрат. Доходи в цьому випадку змінюються у протилежних напрямках, хоча названі підприємства не мають безпосередньої взаємозалежності.

Зрозуміло, що і для другого варіанту диверсифікація буде ефективнішою лише за умови різного напрямку зміни доходу.

Для виробничого ризику диверсифікація полягає у розширенні кількості різних елементів, що мають пряме чи опосередковане відношення до виробничого процесу. Мова йде, наприклад, про включення до складу виробничої програми енергопідприємства виробів з альтернативним характером їх використання (виробництво так званих “супутніх товарів”); розширення кількості джерел постачання енергоресурсами; встановлення замість одного потужного агрегату кількох менш потужних з тією ж сумарною потужністю тощо.

Диверсифікація комерційного ризику за своєю сутністю не відрізняється від диверсифікації фінансового ризику. Однак, відмінність полягає у тому, що при розгляді комерційних ризиків збільшують кількість ринків, на яких діє суб'єкт.

Диверсифікація валютного ризику передбачає використання більшої кількості різних валют при укладанні експортно-імпортних угод. Важливо обрати ті валюти, напрям зміни курсів яких є протилежним. Разом з тим треба мати на увазі, що диверсифікація валютного ризику надає позитивний результат лише тоді, коли вона, охоплює експортні або імпортні операції різних партнерів. У випадку наявності одного зарубіжного партнера використання кількох видів валют є недоцільним.

Як підсумок зауважимо, що внаслідок диверсифікації ризик зменшується, але лише відносно, порівняно з ситуацією відсутності диверсифікації.

Мінімізація має мету ретельного балансування активів і зобов'язань з тим аби звести до мінімуму коливання чистої вартості портфеля. Теоретично в цьому випадку не виникає необхідності у залученні ресурсів для утворення резерву або відкриття компенсуючої позиції. Управління активами і пасивами направлене на уникнення надмірного ризику шляхом динамічного регулювання основних параметрів портфеля.

Вирівнювання ризику – це процес нейтралізації негативного впливу здійснення ризикованих операцій за рахунок паралельного проведення операцій з позитивним результатом або розподілу втрат серед суб'єктів ЕР, причетних до ризику. За своїм змістом вирівнювання ризику спрямоване на попередження або зменшення втрат від ризику. На відміну від інших форм управління ризиком вирівнювання ризику є майже беззатратним процесом, а тому майже завжди є обов'язковим складовим елементом, зокрема, підприємницьких дій.

Розрізняють наступні види вирівнювання ризику:

- *вирівнювання ризику у просторі*. Передбачає розподіл можливих втрат в окремих підрозділах підприємства або серед сторін ризикованої ситуації;

– *вирівнювання ризику у часі*. Полягає у приуроченні здійснення певних однорідних господарських операцій до однієї і тієї ж дати.

Це не призводить до усунення чи зменшення втрат, однак у цьому випадку втрати від проведення ризикованих операцій перекриваються доходами від інших операцій, які проводяться одночасно з ризикованими.

Наприклад, одночасне здійснення експортних та імпорتنих операцій, бартерних обмінів, актів купівлі-продажу тощо.

Найбільш типовим прикладом *вирівнювання ризику у просторі* є його розподіл між суб'єктами ЄР. Цей розподіл може бути кількісним і якісним.

В основі *кількісного розподілу* використовується так звана концептуальна модель, яка базується на стандартних методах прийняття рішень. При цьому для прийняття рішень застосовується так зване дерево ймовірностей і рішень.

Якісний розподіл ризику пов'язаний з прийняттям учасниками проекту рішень щодо збільшення кількості потенційних партнерів, на яких перекладається частина можливого ризику.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Які основні методи зниження ризику Вам відомі? У чому полягає відмінність методів за економічним змістом?
2. Від чого залежить вибір конкретної комбінації методів зниження ризиків в енергетиці?
3. Охарактеризуйте зміст методу резервування у фінансовому ризик-менеджменті енергетики.
4. При управлінні якими ризиками функціонування енергетики застосовується метод дублювання? Дайте розширену відповідь.
5. Розкрийте змістовну та економічну сутність методу страхування.
6. Відносно яких критеріїв проводиться страхування ризиків в економічних взаємовідносинах електроенергетичних компаній?
7. В яких випадках застосовується метод хеджування? Які методи хеджування Вам відомі?

8. У чому полягає сутність методу диверсифікація ризику? Дайте розширену відповідь.
9. Охарактеризуйте основні види диверсифікації ризику.
10. Чим відрізняється метод вирівнювання ризику від інших методів управління ризиком? Які види вирівнювання ризику Вам відомі?

2.3 Основні положення теорії ігор та класифікатор інформаційних ситуацій

Як вже відзначалося, управління економічним ризиком – це система заходів, спрямованих на уникнення ризику, зменшення його показників, а також: на вироблення стратегії діяльності та прийняття рішень в умовах ризикованої ситуації.

Необхідною умовою появи ризику є наявність невизначеності економічних процесів. Для прийняття оптимальних рішень в умовах невизначеності використовують математичні моделі, які дозволяють певним чином описати цю невизначеність, певним чином формалізувати її. З цією метою розглянемо теорію ігор, як один із засобів зазначеної формалізації.

Теорія ігор — це розділ сучасної математики, який вивчає математичні моделі прийняття рішень в умовах невизначеності, конфліктності, тобто в ситуаціях, коли інтереси сторін або протилежні, або не збігаються. Засновниками теорії ігор вважають американців Дж. фон Неймана (1903 – 1957 рр.) і О. Моргенштейна (1902 – 1977 рр.), які в 40-х роках 20-го століття описали явище конкуренції як деяку "гру".

Поняття "*гра*" – це формалізований опис (модель) конфліктної ситуації, яка включає в себе чітко визначені правила дій її учасників, котрі намагаються отримати певну перемогу шляхом вибору конкретної (в певному сенсі — найкращої) стратегії поведінки. При цьому суб'єкт управління (суб'єкт прийняття рішення — СПР) називається *гравцем*.

У грі може брати участь два гравці (парна гра) чи кілька гравців (множинна гра).

Для дослідження економічних процесів часто використовують парну гру, одним з гравців якої є економічне середовище (в особі конкурентів, партнерів, законодавчих органів тощо). Складовими такої гри є [15]:

1. *Перший гравець* — СПР, який може прийняти рішення з множини

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\},$$

яку називають *множиною чистих стратегій* (вважається, що одна із даних стратегій обов'язково буде обрана).

2. *Другий гравець* — економічне середовище, яке знаходиться в одному з попарно несумісних станів з множини

$$\Theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m\},$$

один з яких обов'язково настане.

3. Відсутність у СПР апіорної інформації про те, в якому зі своїх станів перебуває економічне середовище.
4. Точне знання суб'єктом управління *функціонала оцінювання* — матриці кількісних оцінок ефективності результату його діяльності у випадку вибору ним певної стратегії за реалізації деякого стану економічного середовища, тобто

$$F = \begin{pmatrix} f_{11} & f_{21} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{m1} & f_{m2} & \dots & f_{mn} \end{pmatrix},$$

де f_{ij} — кількісна оцінка діяльності першого гравця у випадку, коли він обрав стратегію s_i , а економічне середовище перебувало у стані θ_j .

Отже, фактично, ситуація прийняття рішення, згідно із теоретико-ігровим підходом, описується трійкою $\{S, \Theta, F\}$. Зауважимо, що матрицю F часто називають *платіжною матрицею*, а кожен з її елементів — *ціною гри* при відповідному виборі стратегій обох гравців.

При побудові ігрової моделі виділяють творчу та формальну складові.

Етапами *творчої складової* є:

- формування переліку чистих стратегій СПР та станів економічного середовища – множин S і Θ ;
- визначення та формалізація основних показників ефективності та корисності діяльності суб'єкта управління – побудова матриці F ;
- визначення (ідентифікація) інформаційної ситуації, яка характеризує поведінку економічного середовища;
- вибір критерію прийняття рішення з множини можливих критеріїв, залежно від ідентифікованої інформаційної ситуації;
- прийняття, згідно з вибраним критерієм, рішення із сукупності чистих або змішаних стратегій, якщо використання останніх можливе.

Крім творчої складової, процес прийняття рішення вимагає володіння *формальною складовою* — вміння використовувати математичний апарат для побудови матриці F , а також для розрахунку оптимальної стратегії чи множини таких стратегій згідно з обраним критерієм оптимальності.

Класифікатор інформаційних ситуацій

Під *інформаційною ситуацією* (ІС) розуміють певний ступінь градації невизначеності щодо перебування економічного середовища в одному зі своїх можливих станів у момент прийняття рішення суб'єктом управління.

Виділяють наступні інформаційні ситуації [15]:

I_1 — характеризується заданим апіорним розподілом ймовірностей станів економічного середовища:

$$P\{\Theta = \theta_j\} = q_j, q_j \geq 0 \ (\forall j), \sum_{j=1}^n q_j = 1;$$

I_2 — характеризується заданим розподілом апіорних ймовірностей станів економічного середовища з точністю до певних невідомих параметрів;

I_3 — характеризується сукупністю обмежень щодо ймовірностей станів економічного середовища;

I_4 – характеризується невідомим розподілом станів економічного середовища з одночасною відсутністю з його боку активної протидії суб'єкту управління;

I_5 – характеризується абсолютно протилежними інтересами СПР та економічного середовища, тобто економічне середовище є зловмисним супротивником суб'єкта управління, його антагоністом;

I_6 – є проміжною між I_1 та I_5 , тобто, одночасно із заданим апіорним розподілом ймовірностей станів економічного середовища, воно є антагоністом для СПР;

I_7 – характеризується нечіткою множиною станів економічного середовища.

Відмітимо, що вибір того чи іншого економічного показника для елементів платіжної матриці залежить від цілей та задач управління та планування. Однією із важливих характеристик функціонала оцінювання є його *інгредієнт*.

Вважається, що платіжна матриця має *позитивний інгредієнт* ($F = F^+$), якщо під час прийняття рішення суб'єкт управління орієнтується на його максимальне значення. У протилежному випадку кажуть, що платіжна матриця має *негативний інгредієнт* ($F = F^-$).

У формі $F = F^+$ функціонал оцінювання розглядають для оптимізації виграшу, доходу, надійності тощо, а у формі $F = F^-$ — у випадку оптимізації втрат, збитків тощо.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. У яких випадках застосовується теорія ігор в економіці?
2. Розкрийте сутність понять "гра", "гравець", "платіжна матриця", "ціна гри".
3. Які складові виділяють при побудові ігрової моделі? Охарактеризуйте їх.
4. Від чого залежить вибір того чи іншого економічного показника для елементів платіжної матриці?

5. В якому випадку платіжна матриця має позитивний інгредієнт, в якому – негативний?
6. Які ступені градації невизначеності Вам відомі?

2.4 Критерії прийняття рішень в умовах невизначеності

Найбільш складним для управління є ситуації з невизначеністю і ризиком, проте в реальній економіці вони найчастіше зустрічаються. Це пояснюється тим, що в умовах переходу до ринку кардинально міняється як традиційна (планова) форма ведення господарства, так і спосіб мислення СПР. У загальному випадку проблема вибору альтернативних рішень в умовах невизначеності може бути визначена за допомогою такої групи змінних, які описують множину варіантів вибору (альтернативних дій), множину значень функції переваг, множину значень ймовірностей настання ситуацій і множину критеріїв [16]. Маємо:

- множину альтернативних рішень $V = (v_i), (i = 1, 2, \dots, m)$;
- множину значень функції переваг $Q = (q_{ij}), (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$;
- множину значень ймовірності настання ситуацій $P = (p_j), (j = 1, 2, \dots, n)$.

Проблема вибору альтернативи зводиться до вибору рядка i матриці (q_{ij}) . Для нього можуть застосовуватися різні критерії. Розглянемо найбільш відомі з них:

Критерій Бернуллі-Лапласа, який застосовується у тому випадку, коли ймовірності можливого економічного стану (вихідні умови) невідомі і тоді будь-який економічний стан вважається однаково ймовірним, має такий вигляд:

$$K_L \Leftrightarrow \max_i \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n q_{ij} (i = 1, 2, \dots, m). \quad (2.1)$$

Критерій Вальда (критерій обережного спостерігача)

$$K_W \Leftrightarrow \max_i \min_j n q_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n). \quad (2.2)$$

По максимінному критерію Вальда вибирають стратегію, що надає гарантований виграш при найгіршому стані середовища.

Критерій Гермєєра є розширенням критерію Вальда із врахуванням відомого розподілу ймовірностей p_j . Його формальний запис має вигляд:

$$K_G \Leftrightarrow \max_i \min_j p_j q_{ij}; (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n). \quad (2.3)$$

Критерій Байєса (максимум середнього виграшу)

$$K_B \Leftrightarrow \max_i \sum_{j=1}^n p_j q_{ij} (i = 1, 2, \dots, m), \quad (2.4)$$

$$\text{де } 0 < p_j < 1, \sum_{j=1}^n p_j = 1.$$

Оскільки при застосуванні критерію Байєса максимізується математичне сподівання виграшу, то його доцільно застосовувати при багатократному повторенні ситуації вибору з відомими ймовірностями (високий рівень інформованості СПР), де за рахунок великої кількості реалізацій значення виграшу поступово стабілізується, тобто ризик практично виключається.

Критерій Севіджа (критерій мінімізації «жалів») передбачає зміну акценту вибору. «Жаль» – це величина, рівна зміні корисності результату при даному стані середовища щодо найкращого можливого стану.

Вихідна матриця вибору $\{q_{ij}\}$ змінюється на матрицю втрат: $r_{ij} = q_{ij} + \max_i \{q_{ij}\}$ і вибір здійснюється, виходячи із мінімізації даних елементів:

$$K_S \Leftrightarrow \max_i \min_j r_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n). \quad (2.5)$$

Критерій K_S надає змогу не допустити надто важких наслідків помилкового рішення СПР. Цей критерій мінімізує можливі втрати за умови, що стан середовища найгіршим образом відрізняється

від передбачуваного. Він часто застосовується на практиці, зокрема при інвестуванні на тривалий період часу.

Критерій EXT (від слова extended — розширений):

$$K_{EXT} \Leftrightarrow \max_{\gamma} \min_p \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n q_{ij} p_j \gamma_i, (i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n), \quad (2.6)$$

де $0 < p_j < 1, \sum_{j=1}^n p_j = 1, 0 < \gamma_i < 1, \sum_{i=1}^m \gamma_i = 1, \gamma_i$ ймовірність появи i -ої

альтернативи.

Розширений критерій має на меті знайти найкращий розподіл ймовірностей на множині варіантів $V = \{v_i\} (i = 1, 2, \dots, m)$, коли ситуація багато разів повторюється і нічого невідомо про ймовірності появи економічних станів.

Критерій Байєса-Севіджа належить до складніших критеріїв і має на меті мінімізувати середній ризик, тобто математичне сподівання його:

$$K_{BS} \Leftrightarrow \min_i \sum_{j=1}^n p_j (\max_i q_{ij} - q_{ij}), (i = 1, 2, \dots, m), \quad (2.7)$$

$$\text{де } 0 < p_j < 1, \sum_{j=1}^n p_j = 1.$$

Критерій Гурвіца (критерій песимізму-оптимізму) надає змогу досягати деякого компромісу між песимістичними та оптимістичними рішеннями, які дають деякі критерії. Суть його полягає в тому, щоб вибрати число $b \lambda (0 \leq \lambda \leq 1)$, яке визначало б ступінь оптимізму. Тоді ступінь песимізму – це величина $1 - \lambda$. Вибір альтернативи здійснюється за формулою:

$$K_{GW} \Leftrightarrow \max_i \{ \lambda \max_j q_{ij} + (1 - \lambda) \min_j q_{ij} \} \\ (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n). \quad (2.8)$$

Критерій Гурвіца-Севіджа належить до класу складних критеріїв. На відміну від критерію Гурвіца за його допомогою визначається не виграш, а ризик:

$$K_{GW} \Leftrightarrow \min_i \{ \lambda \times \min_j (\max_i g_{ij} - g_{ij}) + (1 - \lambda) (\max_i g_{ij} - g_{ij}) \},$$

$$(i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n). \quad (2.9)$$

Критерій компромісу за Гурвіцем для виграшу, який застосовується у випадку, коли важко визначити величину λ для пошуку компромісу між оптимістичним і песимістичним результатами вибору:

$$K'_{GW} \Leftrightarrow \min_i \frac{\max_j g_{ij} + \min_j g_{ij}}{2}. \quad (2.10)$$

Критерій компромісу за Гурвіцем для ризику, умови застосування якого аналогічні до попереднього критерію,

$$K''_{GW} \Leftrightarrow \min_i \frac{\max_j r_{ij} + \min_j r_{ij}}{2}. \quad (2.11)$$

Критерій Ходжеса-Лемана використовує параметр оптимізації λ згідно з критерієм Гурвіца і розподіл ймовірностей p_j , який застосовується у критерії Байєса:

$$K_{HL} \Leftrightarrow \max_i \{ \lambda \sum_{j=1}^n p_j q_{ij} + (1 - \lambda) \min_j q_{ij} \}; (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n). \quad (2.12)$$

Критерій крайнього оптимізму, який застосовується схильними до ризику СПР (regless – азартний):

$$K_{REG} \Leftrightarrow \max_i \min_j q_{ij}; (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n). \quad (2.13)$$

Критерій крайньої обережності (cowald — боягуз):

$$K_{COW} \Leftrightarrow \max_i \min_j q_{ij}; (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n). \quad (2.14)$$

Критерій добутку:

$$K_D \Leftrightarrow \max_i \prod_{j=1}^n g_{ij}; (i = 1, 2, \dots, m). \quad (2.15)$$

Вибір критерію прийняття рішень є найбільш складним і відповідальним етапом у дослідженні ефективності реалізації рішень, спрямованих на досягнення сталого розвитку енергетичних систем. При цьому не існує яких-небудь загальних рекомендацій або порад. Вибір критерію повинен робити замовник на найвищому рівні й у максимальному ступені погоджувати цей вибір з конкретною специфікою задачі, а також зі своїми цілями.

Як показано в табл. 2.1, вибір критеріїв прийняття альтернативних рішень залежить від соціально-психологічних умов прийняття рішень, а саме: схильності до ризику та рівня відповідальності СПР [3].

Таблиця 2.1

Вибір критеріїв СПР в залежності від умов прийняття рішень

Схильність до ризику СПР	Рівень відповідальності СПР		
	Високий	Середній	Низький
не схильний	критерій Вальда, критерій Гермесера, критерій Севіджа, критерій Гурвіца-Севіджа	критерій Гурвіца	критерій крайньої обережності, критерій Бернуллі-Лапласа, критерій компромісу за Гурвіцем для виграшу
схильний	критерій ЕХТ	критерій Гурвіца, критерій Байєса, критерій Ходжеса-Лемана	критерій компромісу за Гурвіцем для ризику, критерій крайнього оптимізму, критерій добутку

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Які фактори впливають на формування умов невизначеності в економіці?
2. За допомогою якої групи змінних описують множину варіантів вибору альтернативних дій?

3. Які критерії прийняття альтернативних рішень Вам відомі?
4. Від яких умов залежить вибір критеріїв прийняття альтернативних рішень?
5. Який критерій доцільно застосовувати при багатократному повторенні ситуації вибору з відомими ймовірностями?
6. Який критерій застосовується у випадку, коли ймовірності можливого економічного стану невідомі?

2.5 Ігрові моделі знаходження оптимальних змішаних стратегій для парної гри з нульовою сумою

2.5.1 Парна гра з нульовою сумою

Розглянемо *парну гру з нульовою сумою* — гру для двох гравців, у якій сума виграшів обох гравців дорівнює нулю, тобто виграш одного з них означає програш іншого такої ж величини. Зрозуміло, що, як і кожна парна гра, дана гра однозначно визначається трійкою $\{S, \Theta, F\}$. Традиційно платіжну матрицю розглядають з позитивним інгредієнтом: $F = F^+$.

Зауважимо, що *розв'язати гру* означає знайти оптимальну стратегію для кожного з гравців. Під *оптимальною стратегією* розуміють таку стратегію, яка за багаторазового повторення гри забезпечить гравцеві максимально можливий середній виграш чи мінімально можливий середній програш.

Для даної гри (парної гри з нульовою сумою) оптимальні стратегії знаходять за *принципом мінімакса*. Суть цього принципу полягає в наступному: стратегію першого (другого) гравця називають оптимальною, якщо у разі її багаторазового повторення виграш (програш) першого (другого) гравця не зменшується (не збільшується).

Проілюструємо застосування принципу мінімакса [15].

Отже, нехай гру задано і перший гравець обрав одну із чистих стратегій s_i . Тоді в найгіршому випадку він отримає виграш:

$$f_i^{\min} = \min_{1 \leq j \leq m} f_{ij}.$$

Для того, щоб задовольнити принцип мінімакса, перший гравець повинен вибрати з отриманих значень f_i^{\min} найбільше, тобто знайти число:

$$\alpha = \max_{1 \leq i \leq m} f_i^{\min} := \max_i \min_j f_{ij},$$

яке називають *нижньою ціною гри*. Нижня ціна гри — це гарантований виграш першого гравця.

Нехай тепер другий гравець обрав стратегію θ_j . Тоді в найгіршому випадку він програє величину:

$$f_j^{\max} = \max_{1 \leq i \leq m} f_{ij}.$$

Для вибору оптимальної стратегії за «принципом мінімакса» другому гравцеві необхідно обрати з отриманих значень f_j^{\max} найменше, тобто знайти число:

$$\beta = \min_{1 \leq j \leq m} f_j^{\max} := \min_j \max_i f_{ij},$$

яке називають *верхньою ціною гри*. Верхня ціна гри — це гарантований програш першого гравця.

У випадку, коли $\alpha = \beta$, гру називають *цілком визначеною* або *грою із сідловою точкою*. Величину $f_{i_0 j_0} = \alpha = \beta$ називають *ціною гри*, а пару (i_0, j_0) — *сідловою точкою*.

Сідлова точка визначає оптимальні стратегії обох гравців: s_{i_0} і θ_{j_0} .

Приклад 2. Нехай задано парну гру з нульовою сумою, платіжна матриця якої має вигляд:

$$F = F^+ = \begin{bmatrix} 4 & 5 & 3 & 6 \\ 2 & 6 & 1 & 7 \\ 5 & 8 & 2 & 4 \end{bmatrix}.$$

Знайдемо нижню ціну гри: $\alpha = \max\{3; 1; 2\} = 3$. Верхня ціна гри: $\beta = \min\{5; 8; 3; 7\} = 3$. Оскільки $\alpha = \beta = 3 = f_{13}$, то дана гра є цілком визначеною, сідлова точка – $(1, 3)$, оптимальні стратегії – s_1 і θ_3 .

Відмітимо, що для ігор із сідловою точкою, якщо один із гравців дотримується оптимальної стратегії, то відхилитися від своєї оптимальної стратегії не вигідно для іншого гравця.

Однак, зрозуміло, не кожна парна гра з нульовою сумою є цілком визначеною. У загальному випадку має місце нерівність $\alpha \leq \beta$. У випадку відсутності сідлової точки ($\alpha \neq \beta$) оптимальних *чистих* стратегій для обох гравців не існує. У цьому випадку використовують *змішані стратегії*.

Приклад 3. Нехай задано парну гру з нульовою сумою, платіжна матриця якої має вигляд:

$$F = F^+ = \begin{pmatrix} 4 & 2 & 3 & 5 \\ 5 & 3 & 6 & 4 \\ 2 & 7 & 2 & 6 \end{pmatrix}.$$

Знайдемо нижню ціну гри: $\alpha = \max\{2; 3; 2\} = 3$. Верхня ціна гри: $\beta = \min\{5; 7; 6; 6\} = 5$. Оскільки $\alpha \neq \beta$, то дана гра не є цілком визначеною, а тому оптимальних чистих стратегій для обох гравців не існує.

Розглянемо тепер поняття *змішаної стратегії*.

Нехай X — випадкова величина, яка набуває значень з множини S стратегій першого гравця, а Y — випадкова величина, яка набуває значень з множини Θ стратегій другого гравця і задано розподіли цих випадкових величин, тобто визначено вектори $P_1 = (p_{11}, p_{12}, \dots, p_{1m})$ і $P_2 = (p_{21}, p_{22}, \dots, p_{2n})$, де $p_{1i} := P\{X = s_i\}$ і $p_{2j} := P\{Y = \theta_j\}$ для $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$. Тоді говорять, що вектори P_1 і P_2 задають відповідно змішані стратегії першого та другого гравців, які позначають $S(P_1)$ і $\Theta(P_2)$.

Якщо перший гравець обрав деяку змішану стратегію $S(P_1)$, а другий — $\Theta(P_2)$, то ціна гри V обчислюється як математичне сподівання:

$$V = M(X, Y) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n f_{ij} p_{1i} p_{2j}.$$

Можна показати, що для заданої гри $\alpha \leq V \leq \beta$. Більше того, теорема Дж. фон Неймана та О. Моргенштейна стверджує, що *для довільної парної гри з нульовою сумою існує єдина пара оптимальних стратегій (чистих чи змішаних), причому, якщо один із гравців застосовує оптимальну стратегію, то його виграш дорівнює ціні гри незалежно від того, як діє інший гравець.*

Для змішаних стратегій це означає, що існує оптимальна пара стратегій $S(P_1^*)$ і $\Theta(P_2^*)$, тобто існують розподіли $P_1^* = (p_{11}^*, p_{12}^*, \dots, p_{1m}^*)$ і $P_2^* = (p_{21}^*, p_{22}^*, \dots, p_{2n}^*)$, для яких відповідна ціна гри V^* задовольняє співвідношення [20]:

$$V^* = \max_{P_1} \min_{P_2} M(X, Y) = \min_{P_2} \max_{P_1} M(X, Y),$$

де максимуми та мінімуми беруть за всіма можливими розподілами P_1 і P_2 .

Для оптимальних стратегій справедлива властивість:

- *за багаторазового повторення цих стратегій виграш першого гравця не зменшується, а програш, другого гравця не збільшується, які б стратегії не застосовував супротивник, тобто*

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n f_{ij} p_{1i} p_{2j}^* \leq V^* \leq \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n f_{ij} p_{1i}^* p_{2j}.$$

Відомо, що задачу знаходження оптимальних змішаних стратегій для парної гри з нульовою сумою можна звести до задачі лінійного програмування. Алгоритм такого зведення буде наведено в наступному розділі.

2.5.2 Знаходження оптимальних змішаних стратегій

Розглянемо алгоритм зведення парної гри з нульовою сумою, заданої трійкою $\{S, \Theta, F\}$, до задачі лінійного програмування [15]. Отже, нехай перший гравець обрав певну змішану стратегію $S(P_1)$. Зрозуміло, що чисті стратегії можна вважати частковим випадком змішаних за умови, що одне із значень ймовірностей у векторі P_1 дорівнює одиниці, а інші значення — нульові. Нехай також ціна гри при оптимальній стратегії першого гравця $S(P_1^*)$ дорівнює V^* .

Зауважимо, що можна вважати, що $V^* > 0$. Остання нерівність, очевидно, справджуватиметься, якщо всі елементи матриці F є додатними. Якщо це не так, то додамо до всіх елементів F одне і те ж число, щоб вони всі стали додатними. Наведена процедура, зрозуміло, не вплине на вибір оптимальної стратегії $S(P_1^*)$.

Отже, за теоремою фон Неймана-Моргенштейна про існування оптимальної стратегії, сподіваний виграш від вибору стратегії $S(P_1)$ за умови обрання другим гравцем чистої стратегії ϑ_j буде не меншим за V^* . Це означає, що має місце система обмежень:

$$\begin{aligned} f_{1j}p_{11} + f_{2j}p_{12} + \dots + f_{mj}p_{1m} &\geq V^* \quad (j = 1, 2, \dots, n); \\ p_{1i} &\geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, m). \end{aligned} \quad (2.16)$$

Виконаємо заміну

$$t_i := \frac{p_{1i}}{V^*}, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (2.17)$$

Тоді (2.16) можна подати у вигляді:

$$\begin{aligned} f_{1j}t_1 + f_{2j}t_2 + \dots + f_{mj}t_m &\geq 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n); \\ t_i &\geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, m). \end{aligned} \quad (2.18)$$

З рівності $\sum_{i=1}^m p_{1i} = 1$ та (2.17) отримуємо, що

$$t_1 + t_2 + \dots + t_m = \frac{1}{V^*} \quad (2.19)$$

Рівність (2.19) фактично означає, що для отримання оптимального значення V^* функцію

$$\varphi_1(t_1, \dots, t_m) = t_1 + t_2 + \dots + t_m \quad (2.20)$$

необхідно мінімізувати. Таким чином, задача знаходження оптимальної стратегії першого гравця звелася до задачі лінійного програмування: мінімізувати цільову функцію (2.20) на множині розв'язків системи нерівностей (2.18).

Справді, після розв'язання поставленої задачі буде отримано значення всіх змінних t_i , за яких цільова функція набуде свого найменшого значення φ_{1min} на вказаній множині. Тоді $V^* = \frac{1}{\varphi_{1min}}$ та $p_{1i}^* = V^* t_i$ ($i=1, 2, \dots, m$) і вектор P_1^* оптимальної стратегії першого гравця $S(P_1^*)$ визначено.

Аналогічно, для другого гравця знаходження оптимальної стратегії $\Theta(P_2^*)$ зводиться до знаходження максимуму цільової функції

$$\varphi_2(u_1, \dots, u_n) = u_1 + u_2 + \dots + u_n \quad (2.21)$$

на множині розв'язків системи нерівностей:

$$\begin{aligned} f_{i1}u_1 + f_{i2}u_2 + \dots + f_{in}u_n &\leq 1 \quad (i = 1, 2, \dots, m); \\ u_j &\geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n), \end{aligned} \quad (2.22)$$

де

$$u_j := \frac{p_{2j}}{V^*}, j = 1, 2, \dots, n.$$

Далі, після розв'язання поставленої задачі, буде отримано значення всіх змінних u_j , за яких цільова функція набуде свого найбільшого значення $\varphi_{2\max}$ на вказаній множині.

Тоді $V^* = \frac{1}{\varphi_{2\max}}$ та $p_{2j}^* = V^* \times u_j (j = 1, 2, \dots, n)$ і вектор P_2^* оптимальної стратегії другого гравця $\Theta(P_2^*)$ визначено.

Приклад 4. Знайдемо оптимальну змішану стратегію першого гравця для парної гри з нульовою сумою, яка задана трійкою $\{S, \Theta, F\}$, якщо платіжна матриця гри

$$F = \begin{pmatrix} 4 & 2 & 3 & 5 \\ 5 & 3 & 6 & 4 \\ 2 & 7 & 2 & 6 \end{pmatrix}$$

Знайдемо нижню та верхню ціну гри:

$$\alpha = \max\{2; 3; 2\} = 3;$$

$$\beta = \min\{5; 7; 6; 6\} = 5.$$

Отже, дана гра не має сідлової точки, а тому оптимальної чистої стратегії першого гравця не існує.

Знайдемо оптимальну змішану стратегію першого гравця $S(P_1^*)$. Для нашої задачі $P_1 = (p_{11}, p_{12}, p_{13})$. Після введення відповідної заміни ($t_i = \frac{p_{1i}}{V^*}$) отримаємо цільову функцію $\varphi_1(t_1, t_2, t_3) = t_1 + t_2 + t_3$, для якої необхідно знайти мінімальне значення на множині розв'язків наступної системи лінійних нерівностей:

$$\begin{cases} 4t_1 + 5t_2 + 2t_3 \geq 1; \\ 2t_1 + 3t_2 + 7t_3 \geq 1; \\ 3t_1 + 6t_2 + 2t_3 \geq 1; \\ 5t_1 + 4t_2 + 6t_3 \geq 1; \\ t_1, t_2, t_3 \geq 0. \end{cases}$$

Розв'язавши цю задачу, отримаємо, що

$$\varphi_{1\min} = \frac{7}{29} = \varphi_1(0; \frac{5}{29}; \frac{2}{29}).$$

Таким чином,

$$V^* = \frac{29}{7}; \quad p_{11} = 0; \quad p_{12} = \frac{5}{29} \times \frac{29}{7} = \frac{5}{7}; \quad p_{13} = \frac{2}{29} \times \frac{29}{7} = \frac{2}{7}.$$

Отже, $P_1^* = (0; \frac{5}{7}; \frac{2}{7})$ і першому гравцеві не варто застосовувати першу стратегію, у 5 випадках із 7 варто застосовувати другу, а в 2 випадках із 7 – третю стратегію.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Охарактеризуйте особливості парної гри з нульовою сумою.
1. Яка стратегія вважається оптимальною?
2. За яким принципом знаходять оптимальну стратегію?
3. Охарактеризуйте справедливу властивість для оптимальних стратегій.
4. У яких випадках використовують змішані стратегії?
5. Розкрийте сутність понять "нижня ціна гри", "верхня ціна гри", "сідлова точка".

2.6 Багатокритеріальний підхід до прийняття рішень на основі теорії корисності

При багатокритеріальному підході до прийняття рішення часто важливим є знання кількісних характеристик схильності СПР до ризикованих дій. Одним з підходів до визначення значень цих характеристик є застосування *теорії корисності*.

Зазначимо, що концепція корисності є важливим елементом будь-якої економічної теорії. Введення у розгляд поняття *функції корисності* дозволяє співставити споживчий ефект щодо різних товарів, взагалі кажучи, фізично несумісних: наприклад, ефект від придбання енергообладнання та автомобіля.

Загалом, *корисність* — це ступінь задоволення суб'єкта, яку він одержує від споживання товару чи послуги. Формально корисність описують з допомогою *функції корисності*, яку визначають шляхом присвоювання кожному набору товарів чи послуг певної чисельної оцінки. При цьому керуються наступним правилом: *значення функції корисності має бути тим більшим, чим пріоритетнішим є для суб'єкта товар чи послуга*.

Приклад 5. Побудову функції корисності $u = u(x)$ можна здійснювати, наприклад, наступним шляхом [15].

1. Присвоїти значення функції корисності в крайніх точках її області визначення. Наприклад, якщо найнижчий рівень експлуатаційної готовності деякого обладнання становить 80 %, а найвищий – 100 %, то часто покладають $u(80) = 0$, а $u(100) = 1$.

2. Шляхом опитування експертів знайти значення рівня корисності ще для 5 - 8 проміжних значень області визначення.

3. Вибрати вид функціональної залежності для функції корисності. Зрозуміло, що за даними експертів можна обрати не єдиний вид залежності. Наприклад, для випадку готовності обладнання це можуть

бути такі залежності: $u(x) = -4 + 0,5x$ – лінійна залежність; $u(x) = (\frac{x - 80}{20})^2$ – квадратична залежність тощо.

4. Апроксимувати дані експертів відповідно до вибраної залежності, наприклад, методом найменших квадратів.

5. Здійснити перевірку адекватності моделі та статистичної значимості знайдених її параметрів. У випадку негативного результату повернутися до пункту 3 або 2.

Відзначимо, що вид та аналітична форма запису функції корисності досить багато свідчать про ставлення суб'єкта до ризикованих дій. Для того, щоб переконатися в цьому, розглянемо кілька необхідних понять.

Нехай суб'єкт може отримати певний результат (доход, прибуток, збиток тощо), найменше числове значення якого a , а найбільше – b . *Лотереєю* $L(a, p(x), b)$ (або просто L) називатимемо випадкову величину L , яка набуває значень з відрізка $[a; b]$, де $p(x)$ – ймовірність того, що ця випадкова величина набуде значення з відрізка $[a; x]$. Зокрема, якщо L набуває лише двох значень — a і b з ймовірностями p і $1 - p$ відповідно, то лотерею позначають $L(a, p, b)$.

З поняттям лотереї пов'язане означення корисності за фон Нейманом: *корисність результату x визначається ймовірністю $p(x)$, при якій суб'єкту однаково що обирати: гарантований результат x чи лотерею $L(a, p(x), b)$, де $a < x < b$.*

Отже, нехай задано лотерею L і пов'язану з нею функцію корисності $u(x)$. Природно *сподіваним виграшем \bar{x} від лотереї L* назвати математичне сподівання $M(L)$ випадкової величини L . Для випадку дискретності L

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n (p_i x_i) \quad (2.23)$$

де $a \leq x_i \leq b$ - значення L , а p_i – відповідні їм ймовірності.

Для випадку неперервності L

$$\bar{x} = \int_a^b xf(x)dx \quad (2.24)$$

де $f(x)$ – щільність розподілу L .

Аналогічно, сподіваною корисністю \bar{u} називають математичне сподівання $M(u(L))$, яку обчислюють за формулою:

$$\bar{u} = \sum_{i=1}^n p_i u(x_i), \quad (2.25)$$

Або за формулою:

$$\bar{u} = \int_a^b u(x)f(x)dx, \quad (2.26)$$

залежно від дискретності чи неперервності L .

Взаємозв'язок між ризиком і корисністю встановлюється за допомогою поняття детермінованого еквівалента лотереї.

Отже, *детермінований еквівалент лотереї* — це гарантований результат x_0 одержання якого еквівалентне участі в даній лотереї. Значення x_0 визначається з рівності $u(x_0) = \bar{u}$.

Приклад обчислення детермінованого еквівалента заданої лотереї для конкретної функції корисності буде розглянуто пізніше. Зараз відзначимо наступний факт – для функцій корисності з різних класів має виконуватися одне із співвідношень: 1) $u(\bar{x}) = \bar{u}$; 2) $u(\bar{x}) < \bar{u}$; 3) $u(\bar{x}) > \bar{u}$.

Якщо $u(\bar{x}) = \bar{u}$, то СПР називають *байдужим до ризику*; якщо $u(\bar{x}) < \bar{u}$, то СПР називають *схильним до ризику*; якщо ж $u(\bar{x}) > \bar{u}$, то СПР називають *несхильним до ризику*.

Справді, значення $u(\bar{x})$ показує рівень пріоритетності для СПР здобуття сподіваного виграшу, а значення \bar{u} — рівень пріоритетності участі в лотереї.

Можна показати [5], що СПР з функцією корисності

- $u(x) = a + bx$, $b > 0$ — є байдужим до ризику;
- $u(x) = \ln(x + b)$, $x > -b$ — є несхильним до ризику;
- $u(x) = a - be^{-cx}$, $b > 0$ — є несхильним до ризику;
- $u(x) = kx^2 + m$, $k > 0$ — є схильним до ризику.

Приклад 6. Для лотереї $L(0; \frac{1}{2}; 10)$ та функції корисності $u(x) = -e^{-0.2x}$ знайти детермінований еквівалент лотереї та перевірити СПР на схильність до ризику.

Розв'язання: Знайдемо сподіваний виграш та сподівану корисність:

$$\bar{x} = 0 \times \frac{1}{2} + 10 \times \frac{1}{2} = 5;$$

$$\bar{u} = -e^0 - 12 \times e^{-2} \times 12 = -\frac{e^2 + 1}{2e^2} = -0,57.$$

Оскільки

$$u(\bar{x}) = -e^{-1} = -0,37 > -0,57 = \bar{u},$$

то СПР є несхильним до ризику.

Детермінований еквівалент лотереї X_0 визначимо з рівності:

$$-e^{-0.2x_0} = -\frac{e^2 + 1}{2e^2}.$$

Звідки матимемо:

$$x_0 = 5 \ln\left(\frac{2e^2}{e^2 + 1}\right) = 2.81.$$

Премією за ризик від участі в лотереї L для СПР з функцією корисності $u(x)$ називають величину $\pi(x) = |\bar{x} - x_0|$, де \bar{x} – сподіваний виграш, а x_0 – детермінований еквівалент лотереї L .

Фактично, премія за ризик – це величина, яку СПР згоден втратити із сподіваного виграшу за те, щоб взяти участь у лотереї.

Приклад 7. Обчислимо премію за ризик для СПР згідно результатів прикладу 6. Матимемо:

$$\bar{x} = 5, x_0 = 2.81, \quad \pi(x) = 5 - 2.81 = 2.19.$$

Зазначимо, що поняття корисності та схильності до ризику є характеристиками поведінки СПР в ситуації ризику. Тому ці поняття можуть бути використані для знаходження вагових коефіцієнтів у багатокритеріальному підході до прийняття рішення.

Наприклад, для критерію Гурвіца коефіцієнт α можна визначати наступним чином. Нехай для СПР визначено функцію корисності $u(x)$ і M — найбільше значення цієї функції (воно завжди існує, оскільки функцію корисності визначають на певному відрізку). Тоді можна записати

$$\alpha = \frac{1}{2} + \frac{u(\bar{x}) - \bar{u}}{2M},$$

де \bar{x} і \bar{u} — сподіваний виграш та сподівана корисність для СПР при деякій, наперед заданій лотереї L . Тоді, очевидно, $0 \leq \alpha \leq 1$ і α є тим меншим, чим меншою є різниця $u(\bar{x}) - \bar{u}$, яка відповідає за схильність СПР до ризикованих дій в умовах даної лотереї. Можливі і інші, пов'язані з теорією корисності, способи визначення α .

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Розкрийте сутність теорії корисності.
2. Сформулюйте основне правило побудови функції корисності.
3. Наведіть приклад алгоритму побудови функції корисності.
4. За допомогою якого поняття встановлюється взаємозв'язок між ризиком і корисністю? Розкрийте сутність даного поняття.
5. Яким чином можна перевірити СПР на схильність до ризику?
6. Розкрийте сутність понять "премія за ризик".

2.7 Методична основа розв'язування задачі прийняття багатоцільових рішень (БЦР)

2.7.1 Постановка задачі прийняття БЦР

Проблема прийняття рішень в економіці ускладнюється тими обставинами, що СПР часто керується не однією конкретною метою (наприклад, збільшення прибутку), а кількома різними, однак, взаємопов'язаними цілями.

Отже, *задачею прийняття багатоцільового рішення* називатимемо задачу, яка стосується одночасної оптимізації кількох параметрів економічної діяльності СПР. При цьому задачі оптимізації окремих параметрів називатимемо *частковими цілями*, а розв'язок всієї задачі – *багатоцільовим рішенням (БЦР)*.

З позиції теорії ігор формально задачу прийняття БЦР можна задати, наприклад, наступним чином. Нехай $S=\{s_1, \dots, s_m\}$ є множина рішень (стратегій), які може обрати СПР, а $\Theta=\{\theta_1, \dots, \theta_n\}$ – множина станів, у яких може перебувати економічне середовище (ЕС). Нехай також $F=\{F^{(1)}, \dots, F^{(l)}\}$ – набір платіжних матриць, кожна з яких відповідає окремій частковій цілі задачі прийняття БЦР, тобто

$$F^{(k)} = (f_{ij}^{(k)}); i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, l,$$

де $f_{ij}^{(k)}$ – числове значення характеристики економічної діяльності СПР, пов'язане з k -ю частковою метою, за умови, що СПР обрав стратегію s_i , а економічне середовище перебуває у стані θ_j .

Після введення формальної моделі задачі прийняття БЦР доречним є наступні запитання [15]:

1. Яким чином узгодити інгредієнти платіжних матриць набору F та порядок числових значень їх елементів?
2. Як врахувати ступінь важливості кожної часткової цілі для СПР?
3. Як прийняти одне оптимальне рішення (обрати одну стратегію) одночасно за кількома платіжними матрицями?
4. Який критерій обрати для прийняття рішення, якщо для різних часткових цілей СПР перебуває, як правило, в різних інформаційних ситуаціях?

Надамо відповіді на поставлені питання.

Нормалізація, врахування пріоритету, згортка матриць.

Нормалізацією платіжної матриці $F^{(k)}$ називатимемо процес побудови нової платіжної матриці $\bar{F}^{(k)}$ із наперед заданим інгредієнтом та наперед заданими обмеженнями на величину її елементів. Як правило, платіжні матриці нормалізують таким чином, щоб всі вони мали позитивний інгредієнт, а значення нормалізованих матриць належали відрізьку $[-a; a]$ або навіть $[0; a]$. Зокрема, для більшості загальноприйнятих нормалізацій $a = 1$.

Виділяють наступні основні методи нормалізації:

1. Метод зміни інгредієнта:

$$\bar{f}_{ij}^{(k)} = f_{ij}^{(k)} \text{ або } \bar{f}_{ij}^{(k)} = (f_{ij}^{(k)})^{-1}.$$

2. Метод відносної нормалізації:

$$\bar{f}_{ij}^{(k)} = \frac{f_{ij}^{(k)}}{\max_i f_{ij}^{(k)}} \text{ або } \bar{f}_{ij}^{(k)} = \frac{f_{ij}^{(k)}}{\left| \min_i f_{ij}^{(k)} \right|}$$

3. Метод порівняльної нормалізації:

$$\bar{f}_{ij}^{(k)} = f_{ij}^{(k)} - \min_i f_{ij}^{(k)} \text{ або } \bar{f}_{ij}^{(k)} = \max_i f_{ij}^{(k)} - f_{ij}^{(k)}.$$

4. Метод природної нормалізації:

$$\bar{f}_{ij}^{(k)} = \frac{f_{ij}^{(k)} - \min_i f_{ij}^{(k)}}{\max_i f_{ij}^{(k)} - \min_i f_{ij}^{(k)}}.$$

5. Метод нормалізації Севіджа:

$$\bar{f}_{ij}^{(k)} = \frac{\max_i f_{ij}^{(k)} - f_{ij}^{(k)}}{\max_i f_{ij}^{(k)} - \min_i f_{ij}^{(k)}}.$$

Існують й інші методи нормалізації.

Таким чином, після нормалізації платіжних матриць набору F , отримаємо набір $\bar{F} = \{\bar{F}^{(1)}, \dots, \bar{F}^{(l)}\}$ нормалізованих платіжних матриць.

Врахуванням пріоритету нормалізованої платіжної матриці $\bar{F}^{(k)}$ називатимемо процес побудови нової платіжної матриці $\tilde{F}^{(k)}$, елементи $\tilde{f}_{ij}^{(k)}$ якої за певним принципом врахування пріоритету пов'язують з елементами нормалізованої матриці та набором коефіцієнтів пріоритетності

$$\beta = \{\beta_1, \dots, \beta_l\};$$

$$\beta_k \geq 0; \sum_{k=1}^l \beta_k = 1.$$

Виділяють два *основні принципи врахування пріоритету*:

1. Лінійний принцип врахування:

$$\tilde{f}_{ij}^{(k)} = \beta_k \bar{f}_{ij}^{(k)};$$

2. Показниковий принцип врахування:

$$\tilde{f}_{ij}^{(k)} = (\bar{f}_{ij}^{(k)})^{\beta_k}.$$

Після врахування пріоритетності нормалізованих платіжних матриць набору \bar{F} , отримаємо набір матриць $\tilde{F} = \{\tilde{F}^{(1)}, \dots, \tilde{F}^{(l)}\}$, який у відповідності до набору β відображає важливість кожної із часткових цілей для СПР.

Згортанням платіжних матриць набору \tilde{F} називатимемо процес побудови (за певним *способом згортання*) однієї матриці $F^* = (f_{ij}^*), i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$, яка відповідатиме всьому набору F . При цьому матрицю F^* називатимемо *згортокою* матриць відповідного набору.

Основними способами згортання платіжних матриць є:

1. Спосіб гарантованого результату:

$$f_{ij}^* = \min_k \tilde{f}_{ij}^{(k)};$$

2. Спосіб домінуючого результату:

$$f_{ij}^* = \max_k \tilde{f}_{ij}^{(k)};$$

3. Спосіб сумарної ефективності:

$$f_{ij}^* = \sum_{k=1}^l \tilde{f}_{ij}^{(k)};$$

4. Спосіб досягнення рівномірності:

$$f_{ij}^* = \prod_{k=1}^l \tilde{f}_{ij}^{(k)}.$$

2.7.2 Алгоритм та приклади розв'язування задач прийняття БЦР

Розглянемо *алгоритм* розв'язування задачі прийняття БЦР. Після нормалізації, врахування пріоритету та згортання платіжних матриць набору F модель прийняття БЦР, фактично, звелася до моделі прийняття одноцільового рішення, заданої трійкою $\{S, \Theta, F^*\}$, яку назовемо *згорнутою моделлю*. Однак, проблемою залишається правильний вибір критерію прийняття рішення за згорнутою моделлю, оскільки СПР може перебувати в різних інформаційних ситуаціях для кожної із часткових цілей.

Отже, нехай СПР для кожної зі своїх часткових цілей перебуває в інформаційній ситуації $I^{(k)}$, $k = 1, 2, \dots, l$, для якої критерієм прийняття рішення є критерій e_k . Тоді для прийняття БЦР необхідно скористатися багатокритеріальним підходом прийняття рішення за згорнутою моделлю. В якості вагових коефіцієнтів a_k доцільно обрати коефіцієнти пріоритетності b_k , тобто покласти $a_k = b_k$, $k=1, 2, \dots, l$.

Наприклад, якщо $l = 2$ і СПР перебуває для першої цілі в інформаційній ситуації I_1 (застосовують критерій Байєса), а для другої – в інформаційній ситуації I_5 (застосовують критерій Вальда), то для прийняття БЦР природно застосовувати критерій Ходжеса-Лемана [15].

Для прийняття БЦР необхідно:

1. Нормалізувати платіжні матриці набору F – побудувати новий набір матриць \bar{F} .

2. Врахувати пріоритет часткових цілей – побудувати набір матриць \tilde{F} .

3. Виконати згортання платіжних матриць набору \tilde{F} – побудувати згортку F^* .

4. За згорнутою моделлю $\{S, \Theta, F^*\}$ обрати оптимальну стратегію СПР, керуючись або лише одним критерієм, якщо інформаційні ситуації

для всіх часткових цілей однакові, або керуючись багатокритеріальним підходом – у протилежному випадку.

Розглянемо *приклад* розв'язування задач прийняття БЦР.

Приклад 8. Знайдемо оптимальне багатоцільове рішення для СПР, який може обрати одну з 5 можливих стратегій, а ЕС при цьому може перебувати в двох станах. Платіжні матриці часткових цілей, маючи позитивний інгредієнт, визначаються наступним чином:

$$F^{(1)} = \begin{pmatrix} 15 & 0 \\ 1 & 9 \\ 2 & 5 \\ 3 & 3 \\ 1 & 11 \end{pmatrix}; F^{(2)} = \begin{pmatrix} 0 & 6 \\ 2 & 2 \\ 5 & 3 \\ 3 & 4 \\ 2 & 1 \end{pmatrix}.$$

Вважатимемо, що СПР обрав природну нормалізацію, лінійний принцип врахування пріоритету з множиною коефіцієнтів пріоритетності $\theta = \{\frac{1}{4}; \frac{3}{4}\}$ спосіб сумарної ефективності для згортки, а також перебуває в інформаційній ситуації I_5 для обох часткових цілей.

Розв'язання: діятимемо за сформульованим алгоритмом.

Під час обчислень свідомо не виконуватимемо скорочень звичайних дробів для більшої наочності.

1. Нормалізує платіжні матриці природним методом:

$$\max_i f_{i1}^{(1)} = 15 ; \min_i f_{i1}^{(1)} = 1 ;$$

$$\max_i f_{i2}^{(1)} = 11 ; \min_i f_{i2}^{(1)} = 0 ;$$

$$\max_i f_{i1}^{(2)} = 5 ; \min_i f_{i1}^{(2)} = 0 ;$$

$$\max_i f_{i2}^{(2)} = 6 ; \min_i f_{i2}^{(2)} = 1 ;$$

$$\bar{F}^{(1)} = \begin{pmatrix} \frac{14}{14} & 0 \\ 0 & \frac{9}{11} \\ \frac{1}{14} & \frac{5}{11} \\ \frac{2}{14} & \frac{3}{11} \\ \frac{14}{14} & \frac{11}{11} \\ 0 & \frac{11}{11} \end{pmatrix}; \bar{F}^{(2)} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{5}{5} \\ \frac{2}{5} & \frac{1}{5} \\ \frac{5}{5} & \frac{2}{5} \\ \frac{5}{5} & \frac{5}{5} \\ \frac{3}{5} & \frac{3}{5} \\ \frac{5}{5} & 0 \end{pmatrix}.$$

2. Здійснюємо врахування пріоритету за лінійним принципом:

$$\tilde{F}^{(1)} = \begin{pmatrix} \frac{14}{56} & 0 \\ 0 & \frac{9}{44} \\ \frac{1}{56} & \frac{5}{44} \\ \frac{2}{56} & \frac{3}{44} \\ \frac{14}{56} & \frac{11}{44} \\ 0 & \frac{11}{44} \end{pmatrix}; \tilde{F}^{(2)} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{15}{20} \\ \frac{6}{20} & \frac{3}{20} \\ \frac{15}{20} & \frac{6}{20} \\ \frac{9}{20} & \frac{9}{20} \\ \frac{6}{20} & \frac{20}{20} \\ \frac{20}{20} & 0 \end{pmatrix}.$$

3. Згортаємо платіжні матриці за способом сумарної ефективності:

$$F^* = \tilde{F}^{(1)} + \tilde{F}^{(2)} = \begin{pmatrix} 70 & 165 \\ 280 & 220 \\ 168 & 78 \\ 280 & 220 \\ 215 & 91 \\ 280 & 220 \\ 136 & 114 \\ 280 & 220 \\ 168 & 55 \\ 280 & 220 \end{pmatrix}$$

4. Оскільки СПР для обох часткових цілей знаходиться в інформаційній ситуації I_5 , то для згортки матриці F^* можна застосувати критерій Вальда:

$$W^* = \max\left\{\frac{70}{280}; \frac{78}{220}; \frac{91}{220}; \frac{136}{280}; \frac{55}{220}\right\} = \frac{136}{280}.$$

Отже, оптимальною стратегією для задачі прийняття БЦР у даному випадку є четверта стратегія (s_4).

Приклад 9. Знайдемо оптимальне багатоцільове рішення для СПР, який може обрати одну з 4 можливих стратегій, а ЕС при цьому може перебувати в двох станах. Платіжна матриця першої часткової мети, має негативний інгредієнт, а другої — позитивний та визначаються вони наступним чином:

$$F^{(1)} = \begin{pmatrix} 3 & 4 \\ 10 & 2 \\ 7 & 3 \\ 2 & 8 \end{pmatrix}; F^{(2)} = \begin{pmatrix} 20 & 50 \\ 30 & 20 \\ 10 & 40 \\ 40 & 10 \end{pmatrix}.$$

Вважатимемо, що СПР обрав нормалізацію Севіджа, лінійний принцип врахування пріоритету з множиною коефіцієнтів пріоритетності $\beta = \{\frac{2}{3}; \frac{1}{3}\}$, спосіб сумарної ефективності для згортки, а також перебуває в інформаційній ситуації I_1 з ймовірностями станів ЕС $q_1 = \frac{3}{4}; q_2 = \frac{1}{4}$ для першої часткової мети та в інформаційній ситуації I_5 — для другої.

Розв'язання: Знову діятимемо за сформульованим алгоритмом.

1. Нормалізуємо платіжну матрицю першої цілі методом Севіджа:

$$\max_i f_{i1}^{(1)} = 10; \min_i f_{i1}^{(1)} = 2;$$

$$\max_i f_{i2}^{(1)} = 8; \min_i f_{i2}^{(1)} = 2;$$

$$\bar{F}^{(1)} = \begin{pmatrix} \frac{7}{8} & \frac{4}{6} \\ 0 & \frac{1}{5} \\ \frac{3}{8} & \frac{5}{6} \\ \frac{8}{1} & \frac{6}{0} \end{pmatrix}.$$

Для платіжної матриці другої цілі спочатку змінимо інгредієнт, змінивши знак її елементів на протилежний, а потім до змінених елементів застосуємо нормалізацію Севіджа:

$$\max_i f_{i1}^{(2)} = 10 ; \min_i f_{i1}^{(2)} = 40 ;$$

$$\max_i f_{i2}^{(2)} = 10 ; \min_i f_{i2}^{(2)} = 50 ;$$

$$\bar{F}^{(2)} = \begin{pmatrix} \frac{10}{30} & 1 \\ \frac{20}{30} & \frac{10}{40} \\ 0 & \frac{30}{40} \\ 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Враховуючи той факт, що *нормалізація Севіджа змінює інгредієнт на протилежний*, отримуємо позитивний інгредієнт для обох нормалізованих матриць.

2. Здійснюємо врахування пріоритету за лінійним принципом:

$$\tilde{F}^{(1)} = \begin{pmatrix} \frac{14}{24} & \frac{8}{18} \\ 0 & \frac{2}{3} \\ \frac{6}{24} & \frac{10}{18} \\ \frac{2}{3} & 0 \end{pmatrix} ; \quad \tilde{F}^{(2)} = \begin{pmatrix} \frac{1}{9} & \frac{1}{3} \\ 2 & \frac{1}{12} \\ 0 & \frac{1}{4} \\ \frac{1}{3} & 0 \end{pmatrix}.$$

3. Згортаємо платіжні матриці за способом сумарної ефективності (при цьому, для зручності, подамо всі елементи згортки як дробі з однаковим знаменником):

$$F^* = \tilde{F}^{(1)} + \tilde{F}^{(2)} = \begin{pmatrix} \frac{25}{36} & \frac{28}{36} \\ \frac{8}{36} & \frac{27}{36} \\ \frac{9}{36} & \frac{29}{36} \\ \frac{36}{36} & \frac{36}{36} \\ \frac{36}{36} & 0 \end{pmatrix}.$$

4. Враховуючи інформаційні ситуації, в яких знаходиться СПР для кожної часткової мети, до згортки F^* можна застосувати критерій Ходжеса-Лемана з параметром $\lambda = \beta_1 = \frac{2}{3}$: $W^* = \max \{W_1; W_2; W_3; W_4\}$,

де

$$W_1 = \frac{2}{3} \times \left(\frac{25}{36} \times \frac{3}{4} + \frac{28}{36} \times \frac{1}{4} \right) + \frac{1}{3} \times \frac{25}{36} = \frac{306}{432};$$

$$W_2 = \frac{2}{3} \times \left(\frac{8}{36} \times \frac{3}{4} + \frac{27}{36} \times \frac{1}{4} \right) + \frac{1}{3} \times \frac{8}{36} = \frac{134}{432};$$

$$W_3 = \frac{2}{3} \times \left(\frac{9}{36} \times \frac{3}{4} + \frac{24}{36} \times \frac{1}{4} \right) + \frac{1}{3} \times \frac{9}{36} = \frac{148}{432};$$

$$W_4 = \frac{2}{3} \times \left(\frac{36}{36} \times \frac{3}{4} + 0 \times \frac{1}{4} \right) + \frac{1}{3} \times 0 = \frac{216}{432}.$$

Отже, $W^* = \frac{306}{432}$ є оптимальною стратегією для задачі прийняття БЦР уданому випадку є перша стратегія (s_1).

Запитання та завдання для самоконтролю

1. У чому полягає специфіка задачі прийняття БЦР?
2. Яким чином можна формалізувати задачу прийняття БЦР?
3. В яких випадках проводиться нормалізація платіжної матриці?
4. Які основні методи нормалізації Вам відомі?
5. У який спосіб можна згортати платіжні матриці?
6. Наведіть приклади основних принципів врахування пріоритету.
7. Наведіть приклад алгоритму розв'язування задачі прийняття БЦР.

РОЗДІЛ 3

Система методів аналізу й оцінювання господарських ризиків

3.1 Аналіз економіко-математичних методів оцінки господарських ризиків

Оцінка ризику, як важлива складова ризик-менеджменту, являє собою загальний процес аналізу та оцінювання ризику. Ці дві основні складові доцільно розглядати нерозривно, оскільки процедура оцінки ризику заснована на результатах аналізу та зводиться, зазвичай, до визначення, чи перевищує ризик прийнятне (припустиме) значення, чи ні. При цьому у кожній ситуації, пов'язаній із ризиком, виникають питання: що означає прийнятний ризик, де проходить межа, що відділяє його від неприйнятного ризику.

Мета оцінки ризику полягає не тільки в одержанні його якісної та кількісної характеристик, але і ранжируванні цих характеристик, розміщенні пріоритетів та розробки методів, спрямованих на управління ризиками.

Аналіз цих та деяких інших робіт надає можливість констатувати, що ефективність ризик-менеджменту в більшості визначається тим, які методи оцінки використовуються.

При аналізі ризиків традиційно користуються наступними принципами:

- *принцип несумісності* – сумарна величина втрат від різних ризиків є сумою відповідних втрат від кожного його виду;
- *принцип незалежності* – реалізація певного виду ризику не обов'язково змінює величину чи ймовірність виникнення іншого;
- *принцип нормування* – максимальні можливі втрати від реалізації всіх можливих ризиків не повинні перевищувати фінансових можливостей суб'єкта.

Різноманіття економіко-математичних методів аналізу ризику поділяють на дві групи [1]:

- 1) *якісний*;
- 2) *кількісний*.

Якісний аналіз має за мету визначити (ідентифікувати) чинники, області й види ризиків. До групи якісних методів відносять: історико-асоціативні; концептуальні переноси; методи рейтингових оцінок та інше. Підсумкові результати якісного аналізу ризику, у свою чергу, слугують вихідною інформацією для проведення кількісного аналізу.

Кількісна оцінка полягає в установленні взаємозв'язку між факторами господарського ризику та основними результатами операційної діяльності суб'єкта господарювання. Кількісний аналіз ризиків повинен надати можливість чисельно визначити розміри окремих ризиків і ризики суб'єктів господарювання в цілому.

Кількісні показники ризику поділяють на:

- *абсолютні показники* (використовуються для розрахунку допустимого, середнього, критичного і катастрофічного рівня ризику і розробки певних заходів для зменшення вказаних ризиків);
- *показники ймовірності втрат* (дозволяють отримати більш повну інформацію щодо можливості реалізації ризиків);
- *порівняльні показники ризику* (застосовуються при необхідності вибору однієї альтернативи з кількох можливих).

Під абсолютними показниками ризику розуміють величину можливих втрат у вартісному виразі від здійснення ризикованих дій суб'єкта. Абсолютні показники, в основному, застосовують для аналізу

підприємницьких ризиків, пов'язаних з втратами виробничої сфери діяльності. У виробництві найчастіше обчислюють розмір втрат від:

- можливого зниження обсягу виробництва і реалізації продукції;
- зниження цін;
- перевитрати фонду споживання;
- перевитрати матеріальних ресурсів;
- можливого стихійного лиха;
- крадіжок та вимагання;
- зміни політичних факторів.

Для визначення *показників імовірності втрат різних рівнів*, як правило, застосовують два підходи: статистичний і суб'єктивний. Для оцінки ймовірності втрат за статистичним підходом необхідно мати дані про діяльність суб'єкта за певний період часу. В межах статистичного підходу ризик визначається як величина збитків відносно деякого «порогу, норми» (враховуючи, що в ринкових умовах повністю запобігти ризику неможливо). «Норма» може бути обрана безпосередньо самим суб'єктом ЕР, залежно від його специфіки та виду оцінювання ризику. На наш погляд, методичною основою встановлення «норми» може слугувати методи визначення порогових значень індикаторів економічної безпеки.

Перевагою розрахунку «норми» є те, що параметром може бути широкий спектр показників, за якими кожний суб'єкт ЕР прогнозує збитки в разі реалізації певного ризику або групи ризиків. Крім того, кількісне значення ризику може визначатись і як різниця між очікуваним ефектом від реалізації управлінських рішень, що обираються в умовах невизначеності. При цьому, можливі форми прояву очікуваних ефектів для кожного із суб'єктів ЕР, враховуючи цілі їх діяльності будуть різними. Основний зміст цих ефектів на прикладі суб'єктів електроенергетичного ринку приведено в табл. 3.1 [3].

Таблиця 3.1

**Форми прояву можливих очікуваних ефектів для суб'єктів
електроенергетичного ринку з точки зору їх інтересів**

Суб'єкти	Суть ефектів
Енергогене- руючі та енергозабез- печуючі підприємства	<ul style="list-style-type: none"> - підвищення ККД електростанцій; - спрацювання основних виробничих фондів; - підвищення пропускної спроможності ліній електропередачі; - зменшення технологічних і комерційних втрат електроенергії; - зменшення частки еколого-економічних збитків (витрати на ліквідацію екологічного забруднення, штрафи та ін.) у собівартості енергетичної продукції; - зменшення потреби в нових генеруючих потужностях і експлуатаційних витратах; - зменшення збитко-, відходо- та землемісткості виробництва; - підвищення інвестиційної привабливості за рахунок забезпечення фінансової безпеки підприємства.
Споживачі електроенергії	<ul style="list-style-type: none"> - підвищення якості електроенергії; - підвищення надійності електропостачання; - зменшення вартості енергетичних послуг.
Державні і регіональні органи управління	<ul style="list-style-type: none"> - підвищення надійності функціонування енергосистем; - зменшення ресурсозалежності від країн-постачальників; - підвищення конкурентоспроможності економіки за рахунок зменшення цін на товари та послуги; - зменшення заборгованості підприємств і населення перед постачальниками; - забезпечення екологічної безпеки за рахунок мінімізації негативного впливу енергетики на НПС; - зменшення ресурсомісткості та енергоємності виробництва; - зменшення «соціальних втрат»; - зменшення соціально-політичної напруженості.
Галузеві органи управління	<ul style="list-style-type: none"> - зменшення зношеності та технологічної відсталості ОВФ; - задоволення потреб в інвестиціях на оновлення ОВФ; - зменшення аварійності на енергетичних об'єктах і системах; - зменшення технологічних та фінансових ризиків; - підвищення ефективності інвестицій в екомодернізацію енерговиробництва; - зменшення збитко-, відходо- та землемісткості виробництва галузі; - зменшення рівня безробіття у галузі; - зменшення боргу із заробітної плати для працівників; - зменшення рівня травматизму працівників.
Інвестори (банки, юридичні й фізичні особи)	<ul style="list-style-type: none"> - максимізація прибутків за рахунок збільшення кількості укладених договорів та перепродажу електроенергії; - мінімізація строків повернення вкладеного капіталу; - максимізація дивідендів.

При суб'єктивній оцінці ймовірностей різних рівнів можливих втрат проводять опитування групи компетентних спеціалістів (експертів). Кожен з цих експертів, керуючись власним досвідом, а також наявними даними про діяльність оцінюваного суб'єкта ЕР, вказують ймовірності втрат кожного з них. При цьому традиційно користуються таблицею відповідностей між імовірністю вже здійснених втрат певного рівня та ймовірностями їх реалізації в майбутньому.

Порівняльні показники ризику здебільшого використовуються для порівняння рівнів ризикованості проектів, які пропонуються різними суб'єктами ЕР. Особливістю цих показників є те, що вони не виражають величину ризику, а є лише мірою відносності його розміру. До порівняльних показників ризику належать дисперсія, середнє квадратичне (середнє) відхилення та коефіцієнт варіації. Для обчислення дисперсії та стандартного відхилення необхідно, щоб було задано (попередньо обчислено) величини втрат (чи доходів) та відповідні їм ймовірності. Дисперсію та стандартне відхилення застосовують для порівняння ризикованості кількох різних проектів з однаковим середнім значенням величини втрат чи доходів, керуючись принципом: ризикованішим є той проект, для якого значення дисперсії чи стандартного відхилення має більшу величину.

Загалом, у сучасній економічній практиці найпоширенішими економіко-математичними методами кількісної оцінки ризику є:

- статистичний;
- аналітичний;
- метод використання аналогій;
- аналізу доцільності витрат;
- експертних оцінок;
- метод Монте-Карло (імітаційне моделювання);
- аналізу ризиків шляхом стрес-тестування;
- нейромережного аналізу.

Наведемо сутність зазначених методів.

Сутність **статистичного методу** базується на теорії імовірності розподілу випадкових величин. Для оцінки ймовірності втрат за статистичним підходом необхідно мати дані про діяльність суб'єкта за певний період часу. Для більшої адекватності бажано, щоб протягом розглядуваного періоду не відбувалося суттєвих змін у середовищі діяльності суб'єкта: залишався постійним склад партнерів та конкурентів, не відбувалося змін у законодавстві тощо.

Отже, нехай суб'єкт здійснює m видів діяльності і може зазнати при кожному з цих видів втрат n різних рівнів (різних числових значень). За наявними даними (проміжок часу фіксується — як правило, 1 рік) розраховуються наступні числові характеристики: $ВД_k^{(i)}$ — кількість втратних випадків i -го рівня, отриманих від k -го виду діяльності; $ВУ_k$ — кількість випадків успіху при здійсненні k -го виду діяльності. Під втратним випадком розуміється одноразовий акт господарських операцій, які виявилися ризикованими і завдали суб'єкту певних втрат, а під випадком успіху розуміється одноразовий акт господарських операцій, у результаті якого суб'єкт втрат не зазнав. Після вищезгаданої обробки даних можна знайти статистичні ймовірності втрат всіх наявних рівнів за наступними формулами:

$$p_i = \frac{\sum_{k=1}^m ВД_k^{(i)}}{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m ВД_k^{(i)} + \sum_{k=1}^m ВУ_k} \quad (3.1)$$

$$p_o = \frac{\sum_{k=1}^m ВУ_k}{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m ВД_k^{(i)} + \sum_{k=1}^m ВУ_k}, \quad (3.2)$$

де p_i — статистична ймовірність втрат i -го рівня,

p_o — ймовірність відсутності втрат (ймовірність втрат нульового рівня).

Для розрахунку величини певного виду ризику необхідно знати закон його розподілу, тобто володіти інформацією про те, за яких умов він може

бути реалізований і як його реалізація вплине на ефективність діяльності суб'єкта ЕР.

Головними математичними інструментами даного методу є: дисперсія, стандартне відхилення та коефіцієнт варіації. Коли у якості кількісного критерію ризику використовується середнє очікуване значення \bar{X} і середнє квадратичне відхилення σ_x , то для оцінки прийнятності відхилення застосовується коефіцієнт варіації $\gamma = \frac{\sigma_x}{\bar{X}}$.

Також для з'ясування питання про наявність кореляції між різними активами та її напрямку (знаку) використовують коефіцієнти коваріації та кореляції. Вони обчислюються наступним чином. Нехай два різні суб'єкти за n періодів часу отримали доходи рівнів X_1, X_2, \dots, X_n та Y_1, Y_2, \dots, Y_n відповідно. Тоді коефіцієнт коваріації $cov(Y, X)$ або k_{yx} обчислюють за формулою:

$$k_{yx} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}), \quad (3.3)$$

де

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i.$$

Відносним показником коваріації є коефіцієнт кореляції r_{yx} або просто r , який обчислюють за формулою:

$$r = \frac{k_{yx}}{\sigma_x \sigma_y}, \quad (3.4)$$

де

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2}, \quad \sigma_y = \sqrt{\sigma_y^2}, \text{ а}$$

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2, \quad \sigma_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2.$$

Приклад 10. Нехай дані про доходи двох енергопідприємств (в млн грн) подано в табличному вигляді

X	10	20	30	40	50
Y	40	35	30	25	20

Визначити чи буде ефективною диверсифікація ризику при вкладанні коштів у обидва енергопідприємства.

Розв'язання: Обчислимо коефіцієнти коваріації та кореляції. Маємо:

$$\bar{X} = \frac{1}{5}(10 + 20 + 30 + 40 + 50) = 30;$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{5}(40 + 35 + 30 + 25 + 20) = 30;$$

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{5}((10 - 30)^2 + (20 - 30)^2 + 0 + (40 - 30)^2 + (50 - 30)^2) = 200;$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{5}((40 - 30)^2 + (35 - 30)^2 + 0 + (25 - 30)^2 + (20 - 30)^2) = 50;$$

$$\sigma_x = 10\sqrt{2}; \quad \sigma_y = 5\sqrt{2};$$

$$k_{yx} = \frac{1}{5}((-20) \times 10 + (-10) \times 5 + 0 + 10 \times (-5) + 20 \times (-10)) = -100;$$

$$r = \frac{k_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{-100}{10\sqrt{2} \times 5\sqrt{2}} = -1.$$

Отже, для наведеного прикладу кореляція є від'ємною, а тому диверсифікація ризику буде ефективною.

Загалом, статистичний метод може застосовуватися в тих випадках, коли суб'єкт господарювання має у своєму розпорядженні значний обсяг аналітико-статистичної інформації про реалізацію певних видів ризиків

(втрат, збитків) у минулих періодах. Перевагою методу є простота математичних розрахунків, оскільки на підставі обчислених коефіцієнтів варіації та середнього квадратичного відхилення можна оперативно зробити висновок про ступінь ризику суб'єкта ЕР, зокрема: проаналізувати динаміку його доходів, прибутку, рентабельність та інших показників за певний відрізок часу. Основними недоліками методу є використання імовірнісних характеристик для оцінки ступеня ризику та відсутність можливості аналізу джерел виникнення ризику.

У випадках, коли аналітико-статистична інформація обмежена, для кількісного аналізу ризику використовується **аналітичний метод** (стандартні функції розподілу імовірності, розподіл Гаусса, розподіл Пуассона). Він спирається на теорію ймовірностей та вимагає відносно велику кількість розподілів для ринкових факторів ризику. В якості основного припущення передбачається, що зміни ринкових факторів ризику мають нормальний розподіл. Це означає, що розподіл прибутків або збитків для всього портфеля теж буде нормальним.

Перевагою методу є комбінація варіантів по факторному аналізу параметрів, що впливають на ризик, з можливістю пошуку шляхів зниження його ступеня. Недоліком є необхідність адаптації поставленого завдання до наявного математичного апарату та відносно невелика його "прозорість". Використовується, в основному, для аналізу інвестиційних ризиків. До них відносяться наступні методи: аналіз чутливості, метод коригування норми дисконту з урахуванням ризику, метод еквівалентів, метод сценаріїв.

Метод використання аналогії застосовується тоді, коли інші методи оцінки ризику є неприпустимі. Сутність даного методу полягає в тому, що при оцінці величини ризику передбачається створення бази аналогічних об'єктів, виявлення залежностей та загальних закономірностей, які переносяться на дослідний об'єкт з метою прогнозування його розвитку. Застосування методу аналогій для кількісного оцінювання ризиків суб'єктів ЕР передбачає аналіз результативності функціонування ЕР-аналогів в інших країнах.

Але при застосуванні даного методу слід враховувати, що перенесення аналогічних закономірностей на ЕР України не є рівнозначним, враховуючи значні відмінності, по-перше, в державній політиці у сфері регулювання ЕР, а по-друге, в структурі та правилах функціонування ЕР.

Метод аналізу доцільності витрат ґрунтується на тому, що в процесі господарської діяльності витрати за кожним конкретним напрямом, а також за окремими елементами мають різний ступінь ризику. Визначення ступеня ризику за цим методом орієнтоване на ідентифікацію потенційних зон ризику. Такий підхід дозволяє виявити «вузькі місця» у діяльності суб'єкта ЕР з позицій ризикованості, а після розробити методи (засоби, механізми, шляхи) їх мінімізації. Для цього положення кожний елемент витрат поділяється на області ризику, які являють собою зону загальних витрат, у межах яких конкретні витрати не перевищують порогового значення ризику.

Величини можливих втрат (рівні втрат) розбивають на *основні зони ризику*:

- безризикову зону;
- зону допустимого ризику;
- зону критичного ризику;
- зону катастрофічного ризику.

Для розрахунку цих зон визначають: рівень відсутності втрат $R_0=0$, рівень допустимого ризику R_1 , рівень критичного ризику R_2 , рівень катастрофічного ризику R_3 . Тоді безризикова зона встановлюється для втрат $R \in [R_0; R_1]$, зона допустимого ризику – для $R \in [R_1; R_2]$, зона критичного ризику для $R \in [R_2; R_3]$, а зона катастрофічного ризику для втрат $R \geq R_3$. Для господарських ризиків, як правило, R_1 – очікуваний прибуток енергопідприємства, R_2 – величина виручки (доходу), R_3 – вартість майна енергопідприємства.

Даний метод широко застосовується при оцінці й аналізу фінансової стійкості (безпеки) підприємства. Інформаційною базою аналізу фінансового стану є результати виробничої та фінансової діяльності підприємств. У західній практиці розроблено значну кількість

дискримінантних багатофакторних моделей, які використовуються для аналізу й оцінювання рівня фінансової стійкості підприємства. Наприклад, Альтмана для США, Таффлера і Тішоу для Великобританії, Беєрмана для Німеччини, Давидової і Белікова для Російської Федерації й багато інших.

В Україні вихідними даними для розрахунку показників (індикаторів) фінансової стійкості є результати виробничої та фінансової діяльності підприємств, які відображені у щорічній фінансовій звітності (форма № 1 «Баланс», форма № 2 «Звіт про фінансові результати»).

Але, враховуючи особливості української економіки, застосування вищезазначених моделей на практиці є дещо проблематичним, внаслідок того що, переважна більшість вітчизняних енергокомпаній декларує низький прибуток чи навіть збитки, щоб уникнути податкових відрахувань. Проте банківський сектор кредитує такі компанії, знаючи специфіку ведення бізнесу на пострадянському просторі. Натомість у розвинутих економіках компанії надають перевагу більш дешевим позиковим засобам, розміщуючи свої акції на фондовому ринку, і для підвищення їхньої привабливості подеколи завищують показники прибутку.

Сутність **методу експертних оцінок** полягає в отриманні кількісних оцінок ризику на основі обробки результатів опитування експертів. До найбільш розповсюджених процедур експертних вимірів належать:

- ранжирування;
- парне порівняння;
- множинні порівняння;
- безпосереднє оцінювання;
- метод Черчмена-Акоффа;
- метод Терстоуна;
- метод фон Неймана-Моргенштерна.

Доцільність застосування того чи іншого методу, насамперед, визначається характером аналізованої інформації. Якщо є виправданими лише якісні оцінки об'єктів за певними якісними ознаками, то використовують методи ранжирування, парного та множинного порівняння. Якщо характер аналізованої інформації такий, що доцільно

одержати кількісні оцінки об'єктів, то можна застосовувати відповідні методи, починаючи від безпосередніх кількісних оцінок і завершуючи більш точними методами Терстоуна і фон Неймана-Моргенштерна.

Загалом метод експертних оцінок має низький рівень достовірності за рахунок суб'єктивності результатів опитувань експертів. Але при правильній організації процедури експертизи та погодженості оцінок експертів, достовірність методу підвищується. У нашому випадку, використання методу експертних оцінок для кількісного оцінювання ризиків суб'єктів ЕР виправдане тим, що ризики суб'єктів неформалізовані, і має місце неповнота та недостовірність інформації, викликана порівняно коротким часом функціонування ЕР України.

Метод Монте-Карло (Monte-Carlo simulation) (імітаційне моделювання) являє собою об'єднання методів аналізу чутливості та аналізу сценаріїв. У рамках даного методу вибирається статистичний розподіл, близько наближений до змін ринкових факторів, та здійснюється оцінка їх параметрів. Для цього часто використовується розподіл Ст'юдента або суміш нормальних розподілів. Далі на основі вибраного розподілу за допомогою генератора випадкових чисел генерується велика кількість можливих гіпотетичних наборів значень ринкових факторів. Отримані значення використовуються для розрахунку величини прибутків та збитків, які обумовлені зміною вартості портфеля.

Це достатньо складна методика, і реалізація її потребує застосування інформаційних технологій.

У фінансовому ризик-менеджменті широкого розповсюдження отримав **метод аналізу ризиків шляхом стрес-тестування**. Відповідно до рекомендацій Базельського комітету "банки, що використовують модель внутрішніх рейтингів, повинні здійснювати ретельне стрес-тестування для оцінки достатності капіталу" [12]. Наприклад, Національний Банк України під стрес-тестуванням розуміє "метод кількісної оцінки ризику, який полягає у визначенні величини неузгодженої позиції, яка наражає банк на ризик та у визначенні шокової величини зміни зовнішнього фактора – валютного курсу, процентної ставки тощо" [3].

Сутність стрес-тестування полягає у визначенні можливих втрат банку в тій чи іншій можливій ситуації. Мета стрес-тестування – це отримання нового “стресового” розподілу значень факторів ризику, на основі чого здійснюється новий розподіл дохідності портфеля. Однофакторні стрес-тести полягають у використанні зміни лише одного фактору ризику. Багатофакторні передбачають розгляд відразу декількох факторів ризику.

Найбільш розповсюджені з них базуються на історичних сценаріях, тобто тих, які вже відбувалися у минулому. Гіпотетичні сценарії використовуються у випадку, коли історичні сценарії не відповідають необхідним характеристикам або не враховують певні фактори ризику, потрібні для визначення вартості портфеля. Гіпотетичні сценарії теж можуть бути різного типу. Так, найгірші – передбачають розгляд факторів ризику, що можуть примати найгірші значення. Суб’єктивні сценарії враховують зміну факторів ризику, що залежить від думки експертів. При використанні декількох факторів ризику важливо враховувати їх кореляцію. Слід лише відзначити, що перевагою використання цього методу є можливість використання будь-яких розподілів факторів ризику. За допомогою теорії екстремальних значень розглядаються розподіли екстремальних значень факторів ризиків за певних проміжок часу. Далі на основі цього розподілу розраховується величина VaR .

Національним банком України передбачено використання стрес-тестування, особливо для оцінки ризику ліквідності, валютного ризику та ризику зміни процентної ставки.

Метод нейромережного аналізу застосовується в задачах прогнозування стану соціально-економічних систем в умовах невизначеності впливу факторів внутрішнього і зовнішнього середовища. Цей метод дозволяє відтворювати надзвичайно складні залежності та моделювати їх у випадку великої кількості змінних.

Таким чином, на сьогодні загальний методичний апарат аналізу ризиків діяльності суб’єктів господарювання різного рівня ієрархії достатньо розроблений. Доцільність застосування того чи іншого методу

переважно визначається характером аналізованої інформації та метою дослідження.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. У чому полягає мета оцінки ризику?
2. Якими принципами користуються при аналізі ризиків?
3. У чому полягає відмінність основних груп економіко-математичних методів аналізу ризику?
4. Від яких факторів залежить доцільність застосування того чи іншого методу?
5. Дайте характеристику основним економіко-математичним методам кількісної оцінки ризику.
6. Які показники застосовуються при аналізі ризиків?
7. У яких випадках застосовується статистичний підхід до оцінки ймовірності втрат?
8. У яких випадках застосовується суб'єктивний підхід до оцінки ймовірності втрат?
9. Який метод доцільно застосовувати в умовах обмеженості аналітико-статистичної інформації?
10. Розкрийте сутність методу використання аналогій.

3.2 Оцінювання ймовірностей втрат на основі методів експертних оцінок

У випадках, коли статистичних даних для розрахунку ймовірностей втрат різних рівнів або взагалі немає, або вони не можуть бути використані в ситуації, що склалася, найчастіше застосовують *метод експертних оцінок*.

При описі кожного із вищезазначених методів буде передбачатися, що є скінчена кількість вимірюваних чи оцінюваних альтернатив (об'єктів) $A = \{a_1, \dots, a_n\}$ і сформульовано одну чи кілька ознак, за якими порівнюють властивості об'єктів. Отже, методи вимірювання будуть різнитися лише

процедурою порівняння об'єктів. Вона включає побудову відносин між об'єктами емпіричної системи, вибір перетворення (φ) і визначення типу шкал вимірювання. З урахуванням викладених вище обставин розглянемо кожен з методів вимірювання.

Ранжирування. Метод становить собою процедуру впорядкування об'єктів, яку виконує експерт. На основі знань і досвіду він розташовує об'єкти за пріоритетами, керуючись одним чи декількома обраними показниками порівняння. Залежно від характеру відносин між об'єктами можливі різні варіанти їх упорядкування.

Розглянемо ці варіанти. Нехай серед об'єктів немає однакових за порівнюваними показниками, тобто еквівалентних. У цьому разі між ними існує відношення чіткого порядку. За результатами порівняння всіх об'єктів складається впорядкована послідовність $a_1 > a_2 > \dots > a_N$, де об'єкт із першим номером є найкращим з усіх, об'єкт із другим номером поступається першому, але є кращим за решту тощо. Для відношення чіткого порядку доведено існування числової системи, елементами якої є дійсні числа, пов'язані між собою відношенням нерівності (" $>$ " або "<"). Це означає, що впорядкуванню об'єктів відповідає впорядкування чисел $x_1 > \dots > x_N$, де $x_i = \langle p(a_i) \rangle$. Можливою є й зворотна послідовність $x_1 < \dots < x_N$, у якій найкращому об'єкту приписується найменше число i , у міру спадання ступеня переваги об'єктам приписуються більші числа.

Відповідність перерахованих послідовностей, тобто їх гомоморфізм, можна здійснити, обираючи будь-які числові представлення. Єдиним обмеженням є монотонність перетворення. Отже, припустиме перетворення при переході від одного числового представлення до іншого має бути монотонним. Таку властивість припустимого перетворення має шкала порядків, тому ранжирування об'єктів є виміром у порядковій шкалі.

На практиці при ранжируванні найчастіше застосовують числове представлення послідовності у вигляді натуральних чисел:

$$x_1 = (a_1) = 1, x_2 = (a_2) = 2, \dots, x_N = (a_N) = N, \quad (3.5)$$

тобто використовують числову послідовність. Числа x_1, x_2, \dots, x_N у цьому разі називають рангами й, зазвичай, позначають символами r_1, r_2, \dots, r_N . Застосування чітких кількісних відношень “більше” ($>$), “менше” ($<$) чи “дорівнює” ($=$) не завжди дає змогу встановити порядок між об'єктами. Тому поряд з ними використовують відношення для визначення більшого чи меншого ступеня певної якісної ознаки (відношення часткового порядку, наприклад, корисності), відношення типу “більш переважно” ($>-$), “менш переважно” ($-<$), “рівноцінно” ($*$) чи “байдуже” (\sim). Упорядкування об'єктів при цьому може мати, наприклад, такий вигляд:

$$a_1 \succ a_2 \succ a_3 \approx a_4 \approx a_5 \succ a_6 \succ \dots \succ a_{N-1} \approx a_N. \quad (3.6)$$

Таке впорядкування утворює нечіткий лінійний порядок. Для такого відношення доведено існування числової системи з відношеннями нерівності й рівності між числами, що описують властивості об'єктів. Будь-які дві числові системи для нестроного лінійного порядку пов'язані між собою монотонним перетворенням. Отже, ранжирування за наявності еквівалентних об'єктів також є вимірюванням у порядковій шкалі.

При ранжируванні об'єктів, між якими допускаються відношення як строгого порядку, так і еквівалентності, числове представлення обирають у такий спосіб. Найкращому об'єкту надають ранг, що дорівнює одиниці, другому за перевагою – ранг, який дорівнює двом, і т. д. Для еквівалентних об'єктів з погляду технології подальшої обробки експертних оцінок зручно призначати однакові ранги, що дорівнюють середньоарифметичному значенню рангів, які б мали ці об'єкти, якщо б вони слабо розрізнялися, але їх відношення з іншими об'єктами не змінилося. Такі ранги називають пов'язаними. Для наведеного вище прикладу впорядкування на основі нестроного лінійного порядку при $N = 10$ ранги об'єктів a_3, a_4, a_5 будуть дорівнювати $r_3 = r_4 = r_5 = (3+4+5)/3 = 4$.

Пов'язані ранги можуть виявитися дробовими числами. У цьому ж прикладі ранги об'єктів a_9, a_{10} також є однаковими й дорівнюють середньоарифметичному $r_9 = r_{10} = (9 + 10)/2 = 9,5$. Зручність використання

пов'язаних рангів полягає в тому, що сума рангів N об'єктів дорівнює сумі натуральних чисел від одиниці до N і будь-які комбінації пов'язаних рангів не змінюють цю суму. Це істотно спрощує обробку результатів ранжирування при груповій експертній оцінці.

Під час групового ранжирування кожен S -й експерт надає кожному i -му об'єкту ранг r_{ij} . У результаті проведення експертизи отримують матрицю рангів $\|r_{is}\|$ розмірності N_k , де k – кількість експертів; N – кількість об'єктів; $S = 1, k$; $i = 1, N$. Результати групового експертного ранжирування зручно подати у вигляді табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Результати групового ранжирування

Об'єкт	S_1	S_2	...	S_k
a_1	r_{11}	r_{12}	...	r_{1k}
a_2	r_{21}	r_{22}	...	r_{2k}
...
A_n	r_{n1}	r_{n2}	...	r_{nk}

Аналогічний вигляд має таблиця результатів ранжирування об'єктів одним експертом за кількома показниками порівняння. При цьому в таблиці замість експертів у відповідних графах наводять показники. Нагадаємо, що ранги об'єктів визначають тільки послідовність розташування об'єктів за показниками порівняння. При цьому вони не надають можливості зробити висновок про те, на скільки, чи у скільки разів один об'єкт має переваги над іншим.

Перевагою ранжирування як методу експертної оцінки є простота здійснення процедур, яка не потребує трудомісткого навчання експертів. Недоліком ранжирування є практична неможливість упорядкування великої кількості об'єктів. Досвід показує, що коли кількість об'єктів перевищує 10 – 15, експертам важко ранжувати їх. Це пояснюється тим, що в процесі ранжирування експерт має встановити взаємозв'язок

між усіма об'єктами, розглядаючи їх як єдину сукупність. Зі збільшенням кількості об'єктів кількість зв'язків між ними зростає пропорційно до його квадрата. Збереження в пам'яті й аналіз великої сукупності взаємозв'язків між об'єктами обмежуються психологічними можливостями людини. Психологія стверджує, що людська пам'ять надає змогу оперувати в середньому не більше ніж 7 ± 2 об'єктами одночасно. Тому при ранжируванні великої кількості об'єктів експерти можуть припускатися істотних помилок.

Парне порівняння. Цей метод є процедурою встановлення переваг об'єктів при порівнянні всіх можливих пар. На відміну від ранжирування, у якому здійснюється впорядкування всіх об'єктів, парне порівняння є більш простою задачею. При ньому можливе або відношення строгого порядку, або відношення еквівалентності. Звідси випливає, що парне порівняння так само, як і ранжирування, є вимірюванням у порядковій шкалі.

За результатами порівняння пари об'єктів a_i, a_j , а експерт упорядковує її, тобто встановлює відношення або $a_i \succ a_j$, або $a_j \succ a_i$, або $a_i \approx a_j$. Вибір числового представлення $\varphi(a_i)$ можна зробити так: якщо $a_i \succ a_j$, то $\varphi(a_i) > \varphi(a_j)$ або $\varphi(a_i) < \varphi(a_j)$. Якщо об'єкти є еквівалентними, то можна вважати, що $\varphi(a_i) = \varphi(a_j)$.

У практиці парного порівняння використовують такі числові представлення:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & (a_i \succ a_j; a_i \sim a_j); \\ 0 & (a_i \prec a_j); \end{cases} \quad (3.7)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 2 & (a_i \succ a_j); \\ 1 & (a_i \sim a_j); \\ 0 & (a_i \prec a_j); \end{cases} \quad (3.8)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} +1 & (a_i \succ a_j); \\ 0 & (a_i \sim a_j); \\ 1 & (a_i \prec a_j); \end{cases} \quad (3.8a)$$

Результати порівняння всіх пар об'єктів зручно подавати у вигляді матриці. Нехай, наприклад, є п'ять об'єктів a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 і проведено парне їх порівняння за перевагою, результати якого є такими:

$$a_1 \succ a_2, a_1 \succ a_3, a_1 \succ a_4, a_1 \prec a_5, a_2 \succ a_3, a_2 \succ a_4, a_2 \succ a_5, a_3 \succ a_4, a_3 \prec a_5, a_4 \prec a_5.$$

Використовуючи представлення (3.7) складемо матрицю результатів парних порівнянь, приклад якої наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Матриця парних порівнянь об'єктів (представлення формули (3.7))

	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
a_1	1	1	1	1	0
a_2	0	0	1	1	0
a_3	0	0	1	1	0
a_4	0	0	1	1	0
a_5	1	1	1	1	1

Аналогічно для представлення (3.8) складемо матрицю результатів парних порівнянь, приклад якої наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Матриця парних порівнянь об'єктів, (представлення формули (3.8))

	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
a_1	1	2	2	2	0
a_2	0	1	2	2	0
a_3	0	0	1	1	0
a_4	0	0	1	1	0
a_5	2	2	2	2	1

Якщо порівняння пар об'єктів здійснюється окремо за різними показниками або певною групою експертів, то за кожним показником чи експертом складають окрему таблицю результатів парних порівнянь. Порівняння всіх можливих пар не надає можливості повного впорядкування об'єктів, тому виникає задача їх ранжирування за результатами парного порівняння.

При використанні методу парних порівнянь експерт може вказати, що об'єкт a_1 переважає над об'єктом a_2 . При цьому об'єкт a_2 переважає над об'єктом a_3 і водночас a_3 переважає над об'єктом a_1 . У разі розбивки об'єктів на класи експерт може віднести пари a_1 і a_2 , a_2 і a_3 до одного класу і водночас об'єкти a_1 і a_3 - до різних класів. Така непослідовність експерта може бути зумовленою різними причинами: складністю задачі, неочевидністю переваги об'єктів чи розбивки їх на класи (у разі, коли все є очевидним, проведення експертизи непотрібне), недостатньою компетентністю експерта, недостатньо чіткою постановкою задачі, її багатокритеріальністю і т. д.

Якщо метою експертизи при визначенні порівняльної переваги є ранжирування чи часткове впорядкування об'єктів, необхідна їх додаткова ідентифікація. У цих випадках має сенс обирати як результуюче відношення заданого типу, яке є найближчим до отриманого в експерименті.

Множинні порівняння відрізняються від парних тим, що експертам послідовно надаються не пари, а сукупності з трьох, чотирьох, ..., n ($n < N$) об'єктів. Експерт упорядковує їх чи розбиває на класи залежно від цілей експертизи. Множинні порівняння посідають проміжне місце між парними порівняннями й ранжируванням. З одного боку, вони дають змогу використовувати більший, ніж при парних порівняннях, обсяг інформації для визначення експертної оцінки в результаті одночасного зіставлення об'єкта не з одним, а з більшою кількістю об'єктів. З іншого боку, при ранжируванні кількість об'єктів може виявитися занадто великою, що ускладнює роботу експертів і позначається на якості її результатів.

У цьому разі множинні порівняння надають можливість зменшити до розумних меж обсяг інформації, яку опрацьовують експерти.

Безпосереднє оцінювання. Метод полягає у наданні об'єктам числових значень у шкалі інтервалів. Експерту необхідно поставити у відповідність кожному об'єкту точку на визначеному відрізку числової осі. При цьому необхідно, щоб еквівалентним об'єктам приписувалися однакові числа. Як приклад, у табличному вигляді наведене таке відображення п'яти об'єктів на відрізок числової осі $[0,1]$. Оскільки початком відліку обрано нульову точку, то в цьому прикладі вимірювання здійснюється в шкалі відношень.

i	1	2	3	4	5
$\varphi(a_i)$	0,28	0,75	0,20	0,44	0,93

Вимірювання в шкалі інтервалів можуть бути досить точними при повній інформованості експертів про властивості об'єктів. На практиці це буває рідко, тому для вимірювання застосовують бальні оцінки. При цьому замість неперервного відрізка числової осі розглядають ділянки, яким приписуються певні бали. Приписуючи об'єкту деякий бал, експерт тим самим вимірює його з точністю до половини бала. Використовують багато різних шкал, зокрема, 5-, 10- і 100-бальні.

Метод Черчмена-Акоффа (послідовне порівняння). Цей метод належить до найбільш популярних при оцінюванні альтернатив. У ньому передбачається можливість послідовного корегування оцінок, даних експертами. Основні припущення, на яких заснований метод, є такими:

- кожній альтернативі a_i ($i=1, N$) ставиться у відповідність дійсне невід'ємне число $\varphi(a_i)$;
- якщо альтернатива a_i переважає альтернативу a_j , то $\varphi(a_i) > \varphi(a_j)$;
якщо ж альтернативи a_i і a_j є рівноцінними, то $\varphi(a_i) = \varphi(a_j)$;
- якщо $\varphi(a_i)$ і $\varphi(a_j)$ – оцінки альтернатив a_i і a_j , то спільному здійсненню альтернатив a_i й a_j відповідає оцінка $\varphi(a_i) + \varphi(a_j)$.

Найбільш сильним є останнє припущення про адитивність оцінок альтернатив.

Відповідно до методу Черчмена-Акоффа альтернативи a_1, a_2, \dots, a_N ранжируються за перевагою. Нехай альтернатива a_1 є найкращою, наступною за нею є a_2 і т. д. Експерт указує попередні кількісні оцінки $\varphi(a_i)$ для кожної з альтернатив. Іноді найкращій альтернативі приписується оцінка 1, інші оцінки розташовуються між 0 і 1 відповідно до їх переваги. Потім експерт порівнює альтернативу a_1 і суму альтернатив a_2, \dots, a_N . Якщо a_1 переважає, то експерт коректує оцінки так, щоб

$$\varphi(a_1) = \sum_{i=2}^N \varphi(a_i). \quad (3.9)$$

У протилежному випадку має виконуватися нерівність

$$\varphi(a_1) \leq \sum_{i=2}^N \varphi(a_i). \quad (3.10)$$

Якщо альтернатива a_i виявляється гіршою, то для уточнення оцінок вона порівнюється за перевагою із сумою альтернатив a_2, a_3, \dots, a_{N-1} і т. д. Після того як виявиться, що альтернатива a_1 переважає суму альтернатив a_2, \dots, a_k ($k > 2$), вона виключається з розгляду, а замість оцінки альтернативи a_1 розглядається й коректується оцінка альтернативи a_2 . Процес продовжується, доки не буде відкоректовані оцінки всіх альтернатив.

При досить великому N застосування методу Черчмена-Акоффа стає занадто трудомістким. У цьому разі доцільно розбити альтернативи на групи, а одну з альтернатив, наприклад, максимальну, включити до усіх груп. Це надає змогу одержати кількісні оцінки всіх альтернатив за допомогою оцінювання всередині кожної групи.

Метод Черчмена-Акоффа є одним із найефективніших. Його можна успішно використовувати при вимірюваннях у шкалі відношень. У цьому разі визначається найкраща альтернатива a_{i1} . Їй надають максимальну

оцінку. Для всіх інших альтернатив експерт вказує, у скільки разів вони є гіршими, ніж a_{i1} . Для коректування кількісних оцінок альтернатив можна використовувати як стандартну процедуру методу Черчмена-Акоффа, так і попарне порівняння переваги альтернатив. Якщо кількісні оцінки альтернатив не збігаються з уявленням експерта про їх перевагу, то їх коректують.

Метод фон Неймана-Моргенштерна полягає в одержанні числових оцінок альтернатив за допомогою так званих імовірнісних сумішей. В основі методу лежить припущення, відповідно до якого експерт для будь-якої альтернативи a_j , гіршої за a_i , але кращої за a_l , може вказати число p ($0 < p < 1$) таке, що альтернатива a_j буде еквівалентною змішаній альтернативі (імовірнісній суміші) $[pa_i, (1 - p) a_l]$. Змішана альтернатива полягає в тому, що альтернатива a_i вибирається з імовірністю p , а альтернатива a_l - з імовірністю $1 - p$. Очевидно, що коли p є досить близьким до 1, то альтернатива a_j є гіршою за змішану альтернативу $[pa_i, (1 - p) a_l]$. Прийнято, крім згаданого припущення, розглядати систему припущень (аксіом) про властивості змішаних і незмішаних альтернатив. До них належать припущення про зв'язність і транзитивність відношення переваги альтернатив, припущення про те, що змішана альтернатива $[pa_i, (1 - p) a_l]$ переважає $[p'a_i, (1 - p') a_l]$, якщо $p > p'$ й інші.

Якщо зазначену систему переваг виконано, то для кожної з набору основних альтернатив a_1, a_2, \dots, a_N визначають числа x_1 , які характеризують кількісну оцінку змішаних альтернатив. Кількісна оцінка змішаної альтернативи $[p_1a_1, p_2a_2, \dots, p_Na_N]$ дорівнює $x_1p_1 + x_2p_2 + \dots + x_Np_N$.

Змішана альтернатива $[p_1a_1, p_2a_2, \dots, p_Na_N]$ переважає змішану альтернативу $[p'_1a_1, p'_2a_2, \dots, p'_Na_N]$, якщо

$$x_1p_1 + x_2p_2 + \dots + x_Np_N = x_1p'_1 + x_2p'_2 + \dots + x_Np'_N. \quad (3.11)$$

Таким чином, встановлюється існування функції корисності $x_1p_1 + \dots + x_Np_N$, значення якої характеризує ступінь переваги будь-якої

альтернативи, у тому числі й незмішаної. Кращою вважають ту змішану альтернативу, для якої значення функції корисності є більшим.

Розглянуті вище методи експертних оцінок мають різні якості, але призводять у загальному випадку до близьких результатів. Практика їх застосування показала, що найбільш ефективним є комплексне використання різних методів для розв'язання однієї й тієї самої задачі. Порівняльний аналіз результатів підвищує обґрунтованість висновків, що робляться. При цьому варто враховувати, що методом, який потребує мінімальних витрат, є ранжирування, а найбільш трудомістким є метод послідовного порівняння (Черчмена-Акоффа). Метод парного порівняння без додаткової обробки не надає повного впорядкування об'єктів.

Значний вплив на вибір оптимального рішення справляють обмеження задачі, що є умовами, які відбивають вплив зовнішніх і внутрішніх чинників, котрі треба брати до уваги при прийнятті рішення.

Алгоритм процедури експертних вимірів здійснюється за такими етапами:

- формулювання мети дослідження;
- постановка задачі для конкретного випадку;
- створення робочої групи (групи адміністраторів);
- підбір членів експертної комісії;
- розробка тексту та форми анкети для опитування експертів (в анкеті повинні бути питання, відповіді на які нададуть можливість встановити, щонайменше, ймовірності втрат для базових рівнів – R_0, R_1, R_2, R_3 , – які визначають зони ризику);
- опитування експертів (важливо, щоб їх відповіді були незалежними і був правильно оцінений рівень компетентності кожного з експертів);
- обробка результатів опитування (результатом цієї обробки повинні бути ймовірності втрат, які дозволять побудувати криву ризику).

Після постановки задачі адміністративна група створює текст анкети для підібраної групи експертів. Ця анкета складається з двох частин.

Перша частина дозволяє правильно оцінити компетентність кожного з експертів шляхом присвоєння їм певних коефіцієнтів компетентності, величини яких визначаються самими експертами. Отже, кожному з експертів пропонують оцінити компетентність інших експертів (у тому числі й себе) за m -бальною шкалою (найчастіше використовують 10-, 20-, 50- і 100-бальні шкали). За результатами цих оцінок складають *таблицю компетентності експертів*:

$j \backslash i$	1	2	...	n	\bar{c}_j
1	c_{11}	c_{21}	...	c_{n1}	\bar{c}_1
2	c_{12}	c_{22}	...	c_{n2}	\bar{c}_2
...
n	c_{1n}	c_{2n}	...	c_{nn}	\bar{c}_n

У таблиці компетентності n – кількість експертів, $c_{ij} = \frac{m_{ij}}{m}$,

де m_{ij} - оцінка компетентності в балах за m -бальною шкалою, яку отримав j -й експерт від i -го експерта,

$\bar{c}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_{ij}$ – середній рівень компетентності j -го експерта.

Зауважимо, що в багатьох випадках покладають $c_{ij} = 1$ ($\forall i$) і самооцінки експертів не проводять.

Друга частина анкети для експертів містить запитання, що стосуються ймовірностей втрат базових рівнів. Найчастіше експертам пропонують за s -бальною шкалою (як правило, 100-бальною) оцінити можливості

відсутності втрат (R_0), втрат прибутку (R_1), втрат виручки (R_2) та втрат майна (R_3). При цьому кожен експерт повинен розподілити наявні s балів по кожному з рівнів втрат, тобто s_{jk} — оцінка в балах за s -бальною шкалою, яку дав j -й експерт рівню втрат R_k .

Обчисливши ймовірності втрат базових рівнів для кожного з експертів за формулою $p_{jk} = \frac{s_{jk}}{s}$, складають таблицю ймовірностей:

Експерт (j)	R_0	R_1	R_2	R_3	\bar{c}_j
1	p_{10}	p_{11}	p_{12}	p_{13}	\bar{c}_1
2	p_{20}	p_{21}	p_{22}	p_{23}	\bar{c}_2
...
n	p_{n0}	p_{n1}	p_{n2}	p_{n3}	\bar{c}_n
\bar{p}_k	\bar{p}_0	\bar{p}_1	\bar{p}_2	\bar{p}_3	$\sum \bar{c}_j$

У таблиці ймовірностей

$$\bar{p}_k = \frac{\sum_{j=1}^n p_{jk} \bar{c}_j}{\sum_{j=1}^n \bar{c}_j} . \quad (3.12)$$

Зауважимо, що часто до анкети, крім базових рівнів втрат вносять також кілька проміжних значень, для точнішої побудови кривої ризику. У цьому випадку таблиця ймовірностей доповнюється відповідними колонками.

Приклад 11. Нехай при опитуванні групи з 4-х експертів отримано наступні результати щодо базових рівнів втрат (за 100-бальною шкалою):

- перший експерт оцінив можливості відсутності втрат у 80 балів, втрат прибутку – у 15 балів, втрат виручки у 4 бали, а втрат майна – у 1 бал;
- для другого експерта аналогічні дані відповідно становлять 78 балів, 14 балів, 7 балів, 1 бал;
- для третього експерта – 74 бали, 16 балів, 9 балів, 1 бал;
- для четвертого експерта – 81 бал, 15 балів, 3 бали, 1 бал.

При цьому в першій частині анкети *перший експерт* оцінив компетентність інших експертів (за 100-бальною шкалою) наступним чином:

другий – 94 бали,
третій – 97 балів,
четвертий – 96 балів;

для *другого експерта* аналогічні показники становили:

для першого експерта – 100 балів,
для третього – 95 балів,
для четвертого – 94 бали;

третій експерт:

для першого – 95 балів,
для другого – 96 балів,
для четвертого – 94 бали;

нарешті, *четвертий експерт* виставив наступні оцінки:

першому – 97 балів,
другому – 98 балів,
третьому – 96 балів.

За наявними даними побудувати криву економічного ризику методом експертних оцінок.

Розв'язання: Складемо таблицю компетентності та таблицю ймовірностей. При цьому вважатимемо самооцінку експертів максимальною – 100 балів.

Отже, таблиця компетентності набуде вигляду:

$\begin{matrix} i \\ j \end{matrix}$	1	2	3	4	\bar{c}_j
1	1	1	0,95	0,97	0,98
2	0,94	1	0,96	0,98	0,97
3	0,97	0,95	1	0,96	0,97
4	0,96	0,94	0,94	1	0,96

Таблиця ймовірностей:

Експерт (j)	R_0	R_1	R_2	R_3	\bar{c}_j
1	0,8	0,15	0,04	0,01	0,98
2	0,78	0,14	0,07	0,01	0,97
3	0,74	0,16	0,09	0,01	0,97
4	0,81	0,15	0,03	0,01	0,96
\bar{p}_k	0,78	0,15	0,06	0,01	3,88

Поклавши середні значення ймовірностей \bar{p}_k як значення p_k для базових рівнів втрат, отримаємо всі дані для побудови кривої економічного ризику.

Приклад 12. Розглянемо інший приклад оцінки компетентності експертів, модель якої запропоновано авторами роботи [17]. Для визначення компетентності пропонується використовувати методи анкетного опитування та самооцінки. Для анкетного опитування коефіцієнт компетентності визначається за формулою:

$$K_a = \frac{\sum_i \sum_j Y_{ij}}{\sum_i Y_i}, \quad (3.13)$$

де Y_{ij} – вага j -ої характеристики (виокремленої експертом), що оцінюється в i -ій градації в балах;

Y_i – максимальна вага i -ої градації в балах.

Анкета експертів включає п'ять блоків питань:

1. Досвід роботи.
2. Сфера діяльності експерта (підприємство, банківська сфера, викладацька діяльність).
3. Посада (виконавець, керівник середньої ланки, керівник вищої ланки).
4. Теоретичний рівень підготовки (бакалавр, спеціаліст, магістр, к.е.н., д.е.н., наявність академічного несупільного звання).
5. Імідж в ділових колах.

Результати анкетування (наприклад 5 експертів) наведено у табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Результати анкетного опитування експертів

Оцінювальні категорії	Бали	Експерти				
		1	2	3	4	5
<i>Досвід роботи:</i>	30					
до 5 років	15					15
з 5 до 10 років	25	25				
Більше 10 років	30		30	30	30	
<i>Сфера діяльності експерта</i>	25					
підприємство	15		15			
банківська сфера	25	25			25	25
освітні заклади	10			10		
<i>Посада</i>	25					
виконавець	5					5
керівник середньої ланки	15		15	15		
керівник вищої ланки	25	25			25	
<i>Теоретичний рівень підготовки</i>	10					
бакалавр	5					
спеціаліст	6		6		6	6
магістр	7	7				
к.е.н.	8					
д.е.н.	9			9		
наявність академічного несутісного звання	10					
<i>Імідж у ділових колах</i>	10					
широковизнана в ділових колах людина	10	10			10	
людина, визнана фахівцем у кількох галузях економіки	8					
людина, визнана фахівцем в окремій галузі економіки	4		4			
маловідома в ділових колах людина	2			2		2
Всього	100	92	70	66	96	53

Розв'язання: Підставляючи результати опитування у формулу (3.13) визначимо коефіцієнти компетентності експертів при анкетному опитуванні:

$$\text{Експерт 1:} \quad K_{a1} = \frac{25+25+7+25+10}{30+25+25+10+10} = \frac{92}{100} = 0,95;$$

$$\text{Експерт 2 :} \quad K_{a2} = \frac{30+15+6+15+4}{30+25+25+10+10} = \frac{70}{100} = 0,7;$$

$$\text{Експерт 3:} \quad K_{a3} = \frac{30+10+9+15+2}{30+25+25+10+10} = \frac{66}{100} = 0,66;$$

$$\text{Експерт 4:} \quad K_{a4} = \frac{30+25+6+25+10}{30+25+25+10+10} = \frac{96}{100} = 0,96;$$

$$\text{Експерт 5:} \quad K_{a5} = \frac{15+25+6+5+2}{30+25+25+10+10} = \frac{53}{100} = 0,53.$$

Для підвищення рівня обґрунтованості експертної оцінки анкетування доцільно доповнити самооцінкою. Це дозволить об'єктивно і всебічно за критеріями повноти і дієвості сформувати комплексну агреговану оцінку якості експертних знань.

Самооцінка необхідна для додаткового оцінювання обізнаності експерта. У процесі самооцінки кожен спеціаліст оцінює ступінь своєї освіченості за 10-ти бальною шкалою, підкреслюючи відповідні бали:

- «0» балів – експерт не обізнаний із суттю досліджуваного питання;
- «10» балів – якщо питання входить в сферу вузької спеціалізації експерта.

Решта (проміжні) 1–9 бали присвоюється залежно від ступеня обізнаності експерта в досліджуваній проблемі.

Компетентність експерта за самооцінкою обчислюється за формулою:

$$K_c = \frac{\sum_i \lambda_i}{\sum_i n_i}, \quad (3.14)$$

де λ_i – самооцінка (в балах), яка характеризує ступінь обізнаності спеціаліста з i -ою проблемою; n – максимально можлива самооцінка (10 балів).

Для самооцінки пропонуються питання щодо обізнаності у сферах: фінансової стійкості підприємства, ліквідності та мобільності, ділової активності та прибутковості.

Результати самооцінки експертів, обраних для проведеного наукового дослідження, наведено у табл. 3.6.

Таблиця 3.6

Самооцінка експертів

Самооцінка обізнаності експерта стосовно питань:	Бали	Експерти				
		1	2	3	4	5
фінансової стійкості підприємства	10	10	7	9	10	6
ліквідності та мобільності	10	10	9	7	9	5
ділової активності	10	9	6	5	10	4
прибутковості	10	9	7	7	9	5
Всього	40	38	29	28	38	20

Підставляючи результати опитування у формулу (3.14) визначимо коефіцієнти компетентності експертів за самооцінкою:

$$\text{Експерт 1: } K_{c1} = \frac{10 + 10 + 9 + 9}{10 + 10 + 10 + 10} = \frac{38}{40} = 0,95;$$

$$\text{Експерт 2: } K_{c2} = \frac{10 + 10 + 9 + 9}{10 + 10 + 10 + 10} = \frac{29}{40} = 0,73;$$

$$\text{Експерт 3: } K_{c3} = \frac{9 + 7 + 5 + 7}{10 + 10 + 10 + 10} = \frac{28}{40} = 0,7;$$

$$\text{Експерт 4: } K_{c4} = \frac{10 + 10 + 9 + 9}{10 + 10 + 10 + 10} = \frac{38}{40} = 0,95;$$

$$\text{Експерт 5: } K_{c5} = \frac{6 + 5 + 4 + 5}{10 + 10 + 10 + 10} = \frac{20}{40} = 0,5.$$

Отже, на базі двох методів (анкетування та самооцінки) синтезовано комплексний метод оцінки компетентності експертів.

Таким чином, компетентність спеціаліста визначається за формулою:

$$k = \frac{\frac{\sum_i \sum_j y_{ij}}{\sum_i y_i} + \frac{\sum_i \lambda_i}{\sum_i n}}{2} = \frac{k_a + k_c}{2}. \quad (3.15)$$

Підставляючи значення коефіцієнтів компетентності при анкетному опитуванні та за самооцінкою у формулу (3.15) визначимо узагальнені коефіцієнти компетентності експертів.

Експерт 1: $K_1 = \frac{0,95 + 0,95}{2} = 0,94;$

Експерт 2 : $K_2 = \frac{0,7 + 0,73}{2} = 0,7;$

Експерт 3: $K_3 = \frac{0,66 + 0,95}{2} = 0,68;$

Експерт 4: $K_4 = \frac{0,96 + 0,95}{2} = 0,96;$

Експерт 5: $K_5 = \frac{0,53 + 0,5}{2} = 0,91.$

Так, як коефіцієнт компетентності кожного з експертів є більшим за 0,5, то можна стверджувати, що доцільність їх використання в подальшому аналізі є повністю обґрунтованою. Для цього необхідно пронормувати коефіцієнти компетентності. Коефіцієнт компетентності повинен задовольняти умові:

$$\sum_{s=1}^d k_{ns} = 1, \quad (3.16)$$

де d – кількість експертів;

k_{ns} – нормований коефіцієнт відносної компетентності s -го експерта.

Отже, пронормуємо коефіцієнти компетентності, отримані за формулою (3.15)

$$\sum_{s=1}^d k_{ns} = \frac{k_s}{\sum_{s=1}^d k_s}. \quad (3.17)$$

Сума узагальнених коефіцієнти компетентності експертів дорівнює:

$$\sum_{s=1}^d k_{ns} = 0,94 + 0,71 + 0,68 + 0,96 + 0,51 = 3,8.$$

Згідно формули (3.17) визначимо компетентність п'яти експертів.

Експерт 1: $K_{n1} = \frac{0,94}{3,8} = 0,24;$

Експерт 2 : $K_{n2} = \frac{0,71}{3,8} = 0,19;$

Експерт 3: $K_{n3} = \frac{0,68}{3,8} = 0,18;$

Експерт 4: $K_{n4} = \frac{0,71}{3,8} = 0,25;$

Експерт 5: $K_{n5} = \frac{0,51}{3,8} = 0,14.$

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Які методи експертних вимірів Вам відомі?
2. Розкрийте сутність методу ранжирування.

3. Які методи порівняння Вам відомі?
4. Які числові представлення використовують у практиці парного порівняння?
5. Чим відрізняється метод множинні порівняння від методу парного порівняння?
6. Визначте основні етапи алгоритму процедури експертних вимірів.
7. Яким чином можна визначити компетентність експертів?

3.3 Методи оцінювання вартості екологічного ризику як міри збитку

Екологічний ризик визначається сукупністю усіх можливих наслідків впливу на навколишнє природне середовище (НПС) і розподілом імовірності реалізації цих можливостей. Він залежить від очікуваної величини впливу або її середнього значення й охоплює очікувані значення всіх можливих наслідків і відповідні ймовірності реалізації цих наслідків, тобто вартість ризику є таким же самим очікуваним (вірогідним) показником, як і інші очікувані показники промислових об'єктів. Наприклад, у моделях розвитку енергетики очікуваними є тривалість будівництва, термін служби енергооб'єкту, потужність енергоблоку, вартість палива, вартість будівництва, темпи зростання навантаження тощо. Загальноприйнятий спосіб оцінювання вартості ризику полягає у визначенні очікуваного (щорічного) значення вартості збитку для різних наслідків і відповідного розподілу ймовірностей, що можуть бути оцінені без ідентифікації тих, які є конкретним об'єктом впливу (що зазнає економічного збитку).

Типізація економічного збитку

У загальному формулюванні під поняттям **«економічний збиток»** розуміються *фактичні або можливі економічні й соціальні втрати, виражені у вартісній формі, що виникають у результаті яких-небудь подій або явищ, у тому числі забруднення НПС. Дана категорія*

від забруднення НПС у теоретичному і методологічному аспектах досліджена О. Ф. Балацьким [18], К. Г. Гофманом [19], Л. Г. Мельником [20] й іншими вченими.

Крім суто економічного, розрізняють також *соціально-економічний, еколого-економічний і еколого-соціально-економічний збиток*. Під **соціально-економічним збитком** розуміють невиправдане зниження фактичного або потенційного майнового (матеріального) багатства і темпів соціально-культурного розвитку суспільства, його окремих груп і членів (у тому числі погіршення здоров'я населення й майбутніх його поколінь). Еколого-економічний збиток полягає в зменшенні обсягу одержуваної продукції або прибутку через несприятливі впливи на НПС. Під **еколого-соціально-економічним збитком** розуміють невиправдане зниження природно-ресурсного потенціалу розвитку суспільства (від порушення екологічної рівноваги, зникнення видів тварин і рослин, *відторгнення сільськогосподарських угідь*, погіршень умов відпочинку, збідніння джерел промислу й інших природних благ тощо).

Стосовно джерела забруднення, економічний збиток від забруднення НПС, диференціюють на [21]:

- *зовнішній* (збиток, завданий підприємством-забруднювачем суміжним економічним суб'єктам);
- *унесений* (збиток, завданий підприємству забрудненням НПС суміжними економічними суб'єктами);
- *внутрішній* (збиток завданий даному підприємству забрудненням НПС).

Також виділяють *одноразовий, перманентний* (у тому числі змінний у часі) і *латентний збиток*, тобто такий, який виявляється через деякий час (при впливі на здоров'я людини і природні екосистеми).

При розгляді економічних, соціальних і екологічних наслідків негативного впливу енергетики (або впровадження нових енерготехнологій) на реципієнтів доцільно оперувати поняттями **прямого, непрямого і повного** (або загального, сумарного) збитку.

Під **прямим збитком** розуміються втрати та збитки всіх елементів національної економіки:

- втрати ОВФ;
- упущену вигоду через недовироблення і зниження ефективності виробництва;
- штрафи за недопоставку продукції;
- витрати на обмеження розвитку та ліквідацію надзвичайних ситуацій;
- погіршення якості НПС.

Прямий соціальний і екологічний збиток — негативні наслідки в цих сферах у зоні прямого впливу дії розглянутої надзвичайної ситуації.

Загалом прямий збиток розглядається як *негативне суспільне споживання* (витрати на ліквідацію впливів, недовиробіток промислової, **сільськогосподарської** й іншої **продукції** тощо) від антропогенних і природних видів впливу.

Непрямий збиток — це результат негативного впливу на продуктивні сили суспільства, у тому числі і на людину (зростання захворюваності і передчасної смертності, інвалідність, скорочення тривалості життя тощо). Іншими словами, під **непрямим збитком** маються на увазі втрати, збитки й додаткові витрати суб'єктів національної економіки, які розташовані поза зоною надзвичайної ситуації, але відчують ті або інші збурювання у процесі свого функціонування.

Сутність та класифікація екстернальних витрат

Усі витрати, пов'язані з виробництвом, тобто *"соціальні витрати"*, являють собою суму індивідуальних (витрат виробника) і зовнішніх (екстернальних) витрат. **Екстерналії визначаються як ефекти впливу на добробут окремих індивідуумів або колективів людей, яких виробники і споживачі товару чи послуги (наприклад, електроенергії) не беруть до уваги у своїх рішеннях при оцінюванні ефективності (вигідності) [22].**

Екстерналіями можуть бути або *зовнішні витрати (вартості)*, або *зовнішні вигоди*. Вони можуть бути пов'язані з впливом на НПС,

впливом на здоров'я людини, зі збитком інфраструктури або з іншими впливами.

Залежно від виду впливів різні екстерналії класифікують у такий спосіб:

– **міжчасові (між поколіннями) екстерналії**; безпосередньо стосуються проблеми СР. Сучасне покоління у своїй діяльності неминуче впливає на добробут майбутніх поколінь як позитивно, створюючи нові ефективні технології, матеріальні і духовні цінності, так і негативно, витрачаючи невідновні ресурси, забруднюючи й виснажуючи навколишнє середовище, тобто зменшуючи можливості майбутніх поколінь задовольняти власні потреби. Прикладами міжчасових екстерналій є вичерпання запасів нафти, можливе глобальне потепління в результаті емісії CO₂, довгостроковий ризик, пов'язаний з радіаційними наслідками аварій на об'єктах ядерного паливного циклу або зі збереженням радіоактивних залишків і т. ін.;

– **глобальні (міждержавні) екстерналії**. Прикладами глобальних екстерналій є трансграничне перенесення забруднень (наприклад, утворення і випадання кислотних дощів у Західній Європі або радіоактивне забруднення ґрунтів у ряді країн у результаті аварії на Чорнобильській АЕС), можливість глобального потепління як міжчасова екстерналія;

– **міжрегіональні (міжрайонні) екстерналії**. Цей вид екстерналій подібний до глобальних, але виявляється в масштабах декількох районів однієї країни. Наприклад, забруднювальні викиди у верхній течії річки Дніпро переносяться і впливають на “нижні” регіони (призводять до додаткових витрат на очищення води);

– **міжгалузеві (міжсекторні) екстерналії**. Розвиток одних галузей народного господарства неминуче призводить до впливу на інші галузі, часто негативному. Так, наприклад будівництво гідроелектростанцій спричиняє вилучення із сільськогосподарського обороту величезних площ, затоплення лісових масивів, зменшення цінних сортів риб тощо;

– *локальні екстерналії*. Такий вид екстерналій пов'язаний з дією певного джерела забруднень, що поширюються на обмежені території. Цей вид вивчений і продовжує вивчатися більш детально. Створені та продовжують розроблятися нові моделі поширення і трансформації забруднювальних речовин; проводяться епідеміологічні клінічні та лабораторні дослідження з установлення взаємозв'язку між дозою взаємодії забруднювальних речовин; проводяться епідеміологічні, клінічні та лабораторні дослідження з виявлення взаємозв'язку між дозою впливу забруднювальних речовин і ефектом цього впливу (дозефектів), розвиваються різні методи перетворення натуральних показників збитку в економічні.

Проблему урахування внутрішніх і зовнішніх витрат уперше досліджував А. Пігу [23], відповідно до ідеї якого *соціальна вартість* (суспільні витрати та витрати на виробництво продукції) (C_s) складається з індивідуальних (внутрішніх) витрат (C_p) і екстернальних (зовнішніх) витрат (C_i), оцінюваних у вартісній формі:

$$C_s = C_p + \sum_{i=1}^m C_i. \quad (3.18)$$

У разі виникнення екологічно небезпечних ситуацій негативними екстерналіями для суспільства може стати непрямий (опосередкований) еколого-економічний збиток, розрахунок якого ґрунтується на додаванні пофакторних і пореципієнтних збитків. Екстернальні (зовнішні) витрати (C_i) можуть бути оцінені у вартісній формі як сума пофакторних або пореципієнтних збитків за формулами [24; 25]:

$$C_i = A_\phi + B_\phi + Z_{\phi i} \quad (3.19)$$

$$C_i = H_p + M_p + P_{c2} + P_{p2} + P_{л2} + P_{рек} + P_{пзф}, \quad (3.20)$$

де пофакторні збитки:

- A_ϕ – від забруднення атмосфери;
- B_ϕ – від забруднення поверхневих і підземних вод;
- Z_ϕ – від забруднення землі й ґрунту;

пореципієнтні збитки, що відображають економічну оцінку шкоди, заподіяної основним реципієнтам:

- H_p – від втрати життя і здоров'я населення;
- M_p – від ушкодження і руйнування (ОВФ), майна і споруд;
- $P_{сг}$ – від відторгнення сільськогосподарських угідь;
- P_{pg} – від втрат у рибному господарстві;
- $P_{лг}$ – від втрати продукції й об'єктів лісового господарства;
- $P_{рек}$ – від знищення й погіршення якості рекреаційних ресурсів;
- $P_{пзф}$ – заподіяний природно-заповідному фонду.

Формулу (3.18) можна подати у такий спосіб [25]:

$$C_s = C_p + \sum_{i=1}^3 C_i = C_p + Y_\phi + B_\phi + Z_\phi$$

$$\text{або } C_s = C_p + \sum_{i=1}^7 C_i = C_p + H_p + M_p + P_{сг} + P_{pg} + P_{лг} + P_{рек} + P_{пзф}.$$

Таким чином, зниження якості НПС веде до зростання втрат в економіці, уповільненню в соціально-економічному розвитку держави.

Способи вимірювання збитку

За допомогою п'ятистадійного оцінювання можна визначити контингент населення, який має ризик зазнати збитку через вплив шкідливих викидів, і в межах діапазону невизначеності кількість людей, які зазнають реального збитку (хоча той, хто саме зазнає цього збитку, як і раніше залишиться невизначеним).

Таким чином, ризик сприймається спільно всіма представниками схильного до впливу населення, оскільки кожний індивідуум може, нехай і з досить малою ймовірністю, зазнавати пошкоджень (травми, хвороби,

навіть смерті, збитку власності тощо). У такому контексті основне положення екологічної економіки полягає в тому, що *вартість (ціна) екологічного ризику, спричиненого певним шкідливим викидом або іншим екологічним впливом, дорівнює грошовій сумі, яку середньостатистичний індивідуум заплатив би за уникнення ризику, або, навпаки, сумі компенсації, яка була б потрібна, щоб спонукати його зазнавати цього ризику добровільно* [26]. Це і є той ризик, що сприймається всіма членами суспільства, вартість, якого потрібно оцінити.

Економічне значення екологічних ризиків можна визначати різними способами вимірювання. Одним з прийнятних способів вимірювання витрат, зумовлених збитком НПС, є *вартість компенсації або "пом'якшення" наслідків*. Наприклад, можна виміряти вартість збитку, спричиненого внаслідок забруднення повітря фермеру, чий врожай зменшився через викиди електростанції, вартістю добрив, необхідних для компенсації втрати частки урожаю. Інший аналогічний приклад можна навести щодо компенсації можливого збитку, спричиненого глобальним потеплінням через зростання концентрації CO_2 в атмосфері. Відповідна вартість збитку для населення Нідерландів через підняття рівня Світового океану і можливого затоплення значних територій оцінюється за вартістю будівництва захисних гребель, які можуть перешкодити процесу затоплення.

Іншою основою оцінки вартості збитку є *вартість запобігання (контролю) причині впливу*. Це вимагає оцінювання вартості зниження викиду до нуля або до деякого безпечного рівня, за якого виключаються наслідки впливу. Ця вартість може ґрунтуватися на вартості пристроїв, установлених для видалення забруднюючих речовин з димових газів, або на вартості впровадження екологобезпечних енерготехнологій.

У загальному випадку суспільство погоджується платити за мінімальну повну соціальну вартість одного з варіантів виробництва електроенергії. Однак типова проблема в аналізі збитку НПС полягає у визначенні вартості залишкових екологічних ризиків після очищення викидів.

Оскільки енергокомпанії не враховують вартість залишкового збитку НПС, вони не вдаються до заходів щодо контролю викидів заради потенційної вигоди цих заходів для суспільства. Енергокомпанії не мають ніяких спонукальних мотивів сплачувати за заходи додаткового контролю понад установлені регулюючими органами норми.

Слід однак зазначити, що *потенційна вигода від використання контролю дорівнює вартості відверненого збитку*, яку (так як і для залишкового збитку) необхідно оцінити. Не доцільно визначати вигоду контролю, прирівнюючи її до витрат на здійснення контролю. Тому однією з найбільш важливих цілей оцінки вартості збитку є визначення *економічно ефективного рівня контролю*, для чого потрібно визначити вартість збитку, відверненого внаслідок цього контролю. Це саме той збиток, який оцінюють за допомогою методів екологічної економіки.

Третій спосіб вимірювання збитку — визначення економічних втрат (вартості збитку), пов'язаних із впливом на НПС відповідного виду виробництва, наприклад, електроенергії (повного паливного циклу). На прикладі з втратою врожаю економічний збиток може бути оцінений розміром втрати врожаю і ринковими цінами на цей урожай, що складають втрату економічного прибутку фермера. Такий підхід ґрунтується на врахуванні витрат фермера (без його згоди на компенсацію), а не ціни (вартості), за якою фермер може погодитися на певне зниження врожайності. Насправді, зважаючи на те, що застосування добрив може призводити поряд з позитивними і до негативних наслідків, фермер може зажадати більш високої ціни компенсації.

Оцінювання вартості (ціни) ризику зазнати збитку. *Згода платити та згода отримувати компенсацію* [26]. Важливим питання є те, як оцінювати екологічні ризики за допомогою методів, що ґрунтуються на згоді платити та згоді отримувати компенсацію. За цими методами вигода або витрати визначають, зазвичай, максимумом згоди платити або мінімумом згоди отримувати компенсацію. Вибір цих методів пов'язаний з визначенням прав власності, які для багатьох суспільних

товарів і послуг (включаючи ПР) не завжди можна чітко визначити. Власне, методи, що розглядувалися, — це розвиток поняття врівноважених (ринкових) цін на товари та послуги (коли покупець “згоден платити”, а продавець “згоден на відповідну грошову компенсацію”), на екологічні блага або товари й послуги (у тому числі ризику понести збиток), які не мають ринку.

Характеристика ризиків. Ризик визначається сукупністю всіх можливих реагувань на збурення навколишнього середовища й відповідних імовірності їх реалізації. Виведення функції ризику, яка описує фізичні, хімічні, біологічні, психологічні та інші реагування на різні види впливів, є серйозною проблемою для фахівців. Тому складність прогнозування агрегованого відгуку екосистеми на збурення НПС може бути найбільшою перешкодою при оцінюванні.

Відчутний або актуарний ризик. Більшість оцінок, що використовуються в аналізі збитків НПС від діяльності енергетичних об’єктів, є прогнозними (очікуваними, найбільш вірогідними) величинами, що часто ґрунтуються на експертних висновках [11]. Деякі з них пов’язані з досить ясними й цілком передбачуваними наслідками, зумовленими певними фізичними закономірностями. Інші є статистично обґрунтованими з різними ступенями точності (підтвердженими досвідом експлуатації енергооб’єктів). Страхові компанії визначають страхову премію значною мірою очікуваним значенням втрат, які, у свою чергу, визначаються як імовірністю, так і вартістю різних наслідків. Розмір цієї премії називають актуарною вартістю, а відповідний ризик — *актуарним*.

Індивідууми, які наражаються на ризик, сприймають його по-різному. Можливі наслідки, які фахівці вважають неістотними, можуть непокоїти громадськість. Аналогічно ймовірності реалізації певних небажаних наслідків може здаватися набагато більшою, ніж є насправді. Ця невідповідність між уявленим і дійсним ризиками здатна ініціювати завищену “згоду платити” за уникнення цього уявного ризику, що перевищує дійсне його значення. Відповідно, на економічну поведінку індивідуумів може безпосередньо вплинути їхнє неприйняття ризику.

Отже, хоч актуарні (статистичні) значення ризику (і вартості ризику) є об'єктивно існуючими, вимірюваними і, в більшості випадків, цілком прийнятними для оцінок, особи, що ухвалюють рішення, повинні бути обізнаними з обставинами, за яких ризики, що були сприйняті людьми, значно відрізняються від актуарних ризиків.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Від чого залежить використання поняття "екологічний ризик"?
2. У чому полягає сутність економічного аспекту екологічного ризику?
3. Визначте теоретико-методичну основу оцінювання екологічного ризику.
4. Від чого залежить вибір методів оцінки екологічного ризику?
5. Які основні методи вимірювання збитку Вам відомі? У чому полягає відмінність методів за економічним змістом?
6. Охарактеризуйте основні види екстерналій.
7. Розкрийте сутність механізму інтерналізації екстерналій.
8. Наведіть приклади класифікаційних ознак економічного збитку.
9. Наведіть приклади пофакторних і пореципієнтних збитків.

3.4 Алгоритм розрахунку граничних величин показників господарського ризику

Граничні величини показників ризику — це такі їх значення, перевищення яких може привести до різкого погіршення фінансово-економічного стану суб'єкта ЕР.

При визначенні граничних величин показників ризику необхідно мати на увазі, що граничні величини показників ризику:

- розраховуються для кожного базового рівня втрат окремо (тобто, наприклад, окремо розраховуються граничні ймовірності для втрат прибутку, виручки, майна тощо);
- є суто індивідуальними показниками для кожного окремого суб'єкта;

- розраховуються на кожний господарський рік з врахуванням виконання платежів до бюджету та фінансових заходів, невиконання яких може суттєво вплинути на існування фірми (науково-дослідна робота, технічне переоснащення, придбання обладнання тощо);
- є, як правило, нижчими від величини ймовірності втрат.

Наведемо приклад покрокового алгоритму розрахунку граничних величин показників ризику.

Крок 1. Визначають мінімально допустиму величину прибутку планового року, без якого підприємство не може функціонувати, за формулою:

$$\Pi_{\text{мд}} = \frac{(\Pi_{\text{фн}} + \Pi_{\text{ін}}) \times 100}{100 - C_{\text{в}}},$$

де $\Pi_{\text{мд}}$ – мінімальний допустимий прибуток планового року, $\Pi_{\text{фн}}$ – сума прибутку, необхідна для нормального функціонування суб'єкта, $\Pi_{\text{ін}}$ – сума прибутку, необхідна для фінансування невідкладних соціальних заходів, $C_{\text{в}}$ – відрахування до бюджету у відсотках.

Крок 2. Розраховують річну гранично допустиму величину втрат прибутку:

$$B_{\text{гд}} = \Pi_{\text{п}} - \Pi_{\text{мд}},$$

де $B_{\text{гд}}$ – гранично допустима величина втрат, $\Pi_{\text{п}}$ – планова річна сума прибутку (без втрат).

Крок 3. На основі звітних даних визначають середньорічну величину втрат за минулі роки:

$$B_{\text{ср}} = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^n B_i N_i,$$

де s — кількість років, n — кількість рівнів втрат, B_i — втрати i -го рівня зони допустимого ризику, N_i — кількість випадків втрат i -го рівня.

Крок 4. Знаходять відношення гранично допустимої величини втрат і середньорічної величини втрат:

$$K_{гд} = \frac{B_{гд}}{B_{ср}}.$$

Крок 5. Визначають граничну величину показника ризику, що відповідає i -му рівню втрат зони допустимого ризику

$$(R_d) = p_i \times K_{гд},$$

де p_i — ймовірність втрат i -го рівня.

Приклад 13. Очікуваний прибуток енергопідприємства на 2012 рік складає 200 тис. грн. Ставка податку на прибуток – 20 %. За планом передбачено наступне використання прибутку: 60 % – у фонд нагромадження та 40 % – у фонд споживання. З фонду нагромадження 30 % йтиме на закупку нового обладнання, 25 % – на поточний ремонт, 10 % – на закупку інших матеріалів. З фонду споживання 30 % – кошти, без яких енергопідприємство не зможе нормально функціонувати. За попередні 7 років були втрати прибутку: 120 тис. грн – 1 випадок, 90 тис. грн – 2 випадки, 70 тис. грн – 3 випадки і 40 тис. грн – 4 випадки. Необхідно розрахувати граничну величину ризику для рівня втрат 60 тис. грн., якщо ймовірність цієї втрати становить 0,15.

Розв'язання: Діятимемо за наведеним алгоритмом:

1. Оскільки з фонду нагромадження для повноцінної діяльності енергопідприємства необхідно взяти 65 % коштів, а з фонду споживання – 30 %, то, враховуючи відсоткові розміри кожного з фондів від загальної суми очікуваного прибутку, маємо:

$$\Pi_{\text{фн}} = 200 \cdot 0,6 \cdot 0,65 = 78 \text{ тис. грн};$$

$$\Pi_{\text{ін,}} = 200 \cdot 0,4 \cdot 0,3 = 24 \text{ тис. грн.}$$

Тоді за наведеною формулою, взявши з умови $C_{\text{в}} = 30$, отримаємо:

$$\Pi_{\text{мд}} = \frac{(78 + 24) - 100}{100 - 30} = 145,7 \text{ тис. грн.}$$

2. $B_{\text{гд}} = 200 - 145,7 = 53,4 \text{ тис. грн.}$

3. Середньорічна величина втрат складатиме:

$$B_{\text{ср}} = \frac{1}{7}(1 \times 120 + 2 \times 90 + 3 \times 70 + 4 \times 40) = 96 \text{ тис. грн.}$$

4. $K_{\text{гд}} = \frac{54,3}{96} = 0,57.$

5. Отже, гранично допустима величина ризику становитиме:

$$(R_{\text{д}})_{60} = 0,15 \cdot 0,57 = 0,085.$$

Відповідь: Гранична величина ризику для рівня втрат 60 тис грн. становить 0,085. Це означає, що не слід ризикувати, якщо у 9 випадках (і більше) зі 100 можна втратити 60 тис. грн.

Запропонований підхід для визначення межі ризику найкраще застосовувати, коли рівень прибутку суб'єкта в плановому році та за роки, про які є дані про втрати, є приблизно однаковим, а також в умовах стабільної економіки. У протилежному випадку цю межу необхідно визначати методом експертних оцінок.

Відмітимо також, що розрахунок граничної величини ризику в критичній та катастрофічній зонах наведеним способом проводити не можна, бо втрати в розмірах що перевищують очікуваний прибуток, можуть привести до банкрутства та ліквідації підприємства. Тому для визначення гранично допустимого рівня ризику в критичній та катастрофічній зонах користуються формулою:

$$(R_{дк})_i = R_{дд} \frac{R_1}{(B_k)_i}, \quad (3.21)$$

де $(R_{дк})_i$ – гранично допустимий рівень ризику i -го рівня у критичній та катастрофічній зонах, $R_{дд}$ – гранично допустимий рівень ризику для втрат, що відповідає втратам рівня очікуваного прибутку (R_i) , а $(B_k)_i$ – величина втрат i -го рівня, для якої знаходиться гранична величина ризику.

Приклад 14. Нехай очікуваний прибуток енергопідприємства за рік складає 250 тис. грн. Відомо також, що гранично величина ризику, яка відповідає рівню втрат у розмірі всього прибутку, дорівнює 0,1. Необхідно розрахувати граничну величину ризику для втрат виручки, можливий розмір якої становить 620 тис. грн.

Розв'язання: Згідно формули (3.21) гранично допустимий рівень ризику дорівнює:

$$(R_{дк})_{620} = 0,1 \cdot \frac{250}{620} = 0,04.$$

Отже, умова доцільності діяльності у ризикованому середовищі є наступною: ймовірність виникнення втрат певного рівня не повинна перевищувати гранично допустимої величини ризику. У протилежному випадку господарські операції виявляються такими, що потребують для свого здійснення проведення організаційних заходів, спрямованих на зменшення втрат.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Що необхідно мати на увазі при визначенні граничних величин показників ризику?
2. Визначте основні етапи алгоритму розрахунку граничних величин показників ризику.
3. За якою формулою доцільно розраховувати гранично допустимий рівень ризику в критичній та катастрофічній зонах?

РОЗДІЛ 4

Моделювання господарських ризиків енергопідприємств на основі нечіткої логіки

4.1 Основні положення теорії нечітких множин

Управління в умовах невизначеності висуває високі вимоги до змісту інформації та методів її обробки. Зокрема посилюється увага до використання математичних моделей кількісної оцінки різноманітних ризиків. Це виявляється у загостренні уваги і до статистичних характеристик моделі, а саме: довірчого інтервалу, середньоквадратичної помилки, коефіцієнту множинної детермінації, і до економічного змісту констант прогностичного рівняння. Значна кількість потенційних користувачів економіко-математичних прогностичних моделей погодиться використовувати цей інструментарій лише у разі спрощення процедури формування моделі й зручності її у використанні.

Саме тому останнім часом зростає інтерес до таких технологій як дейта-майнінг, серед яких найбільш популярними є нейромережеве моделювання та засоби нечіткої логіки. «дейтамайнінг», або в записі латиницею Data Mining перекладається як «видобуток», або «розкопка даних». Часто поряд із виразом «дейтамайнінг» застосовують термін «інтелектуальний аналіз даних». Технології інтелектуального аналізу даних можуть не тільки підтвердити закономірності розвитку підприємства, встановлені емпіричним шляхом, але й знайти нові, не відомі раніше моделі ситуації.

У працях [27; 28] систематизовано 8 методів інтелектуального аналізу даних, їх відображено на схемі (рис. 4.1). На нашу думку, більш пильної уваги застосовує проблема використання в управлінні господарськими ризиками таких технологій дейтамайнінгу, як нейронні мережі та нечіткі алгоритми (нечітка логіка).

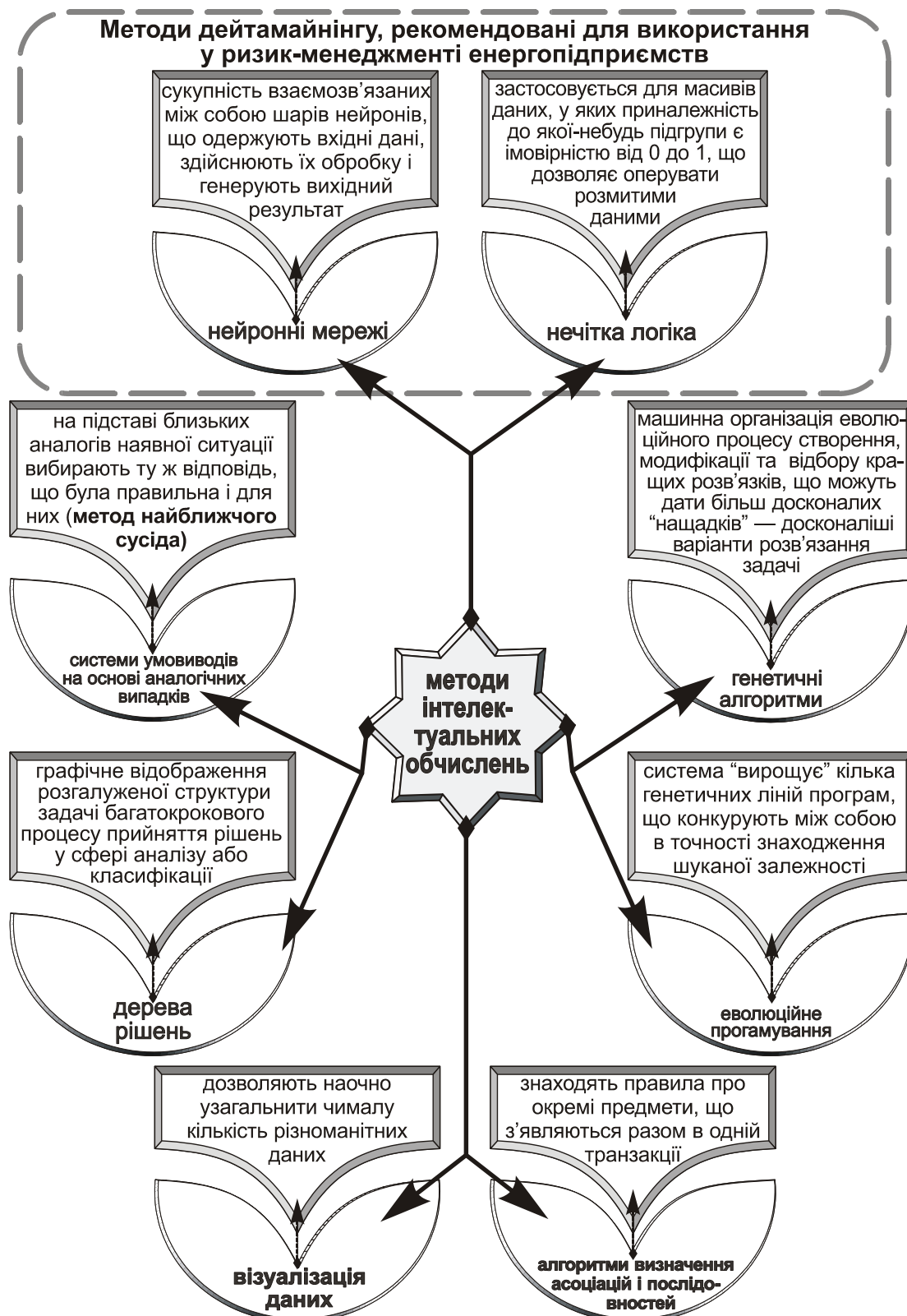


Рис. 4.1. Методи інтелектуального аналізу даних (дейтамайнінгу)

Саме ці інструменти інтелектуального аналізу даних набули ширшого розповсюдження в економічних дослідженнях, спрямованих на удосконалення управління в умовах невизначеності.

Забезпечуючи приблизно однакову точність апроксимації вихідної інформації й короткострокових прогнозів, останні, порівняно із традиційними лінійними регресійними рівняннями, дозволяють спростити процедуру розрахунку прогностичних значень показників вартості, скоротити витрати часу, розширюють можливості щодо вибору пріоритетів під час прийняття важливих управлінських рішень. Однак нейромережеве моделювання не позбавлено істотних недоліків, через що воно і досі не здобуло якнайширшого розповсюдження в наукових розробках та управлінській практиці.

Так, крім похибок, які наявні у прогнозах, складених за допомогою неймереж, та непрозорості обчислювальних процедур, недоліком неймереж є їх «неповторність». Адже повторне навчання мереж кожного разу призводить до нових значень вагових коефіцієнтів моделі, а отже і до інших прогнозних показників. З метою усунення цього недоліку застосовують поєднання різних технологій дейтамайнінгу, зокрема поєднання неймереж із алгоритмами нечіткого висновку у гібридні мережі.

Можливість втілити експертні знання у вигляді алгоритмів, зручних для користувачів-практиків, забезпечує популярність теорії нечітких множин серед інструментарію ризик-менеджменту. Майбутнє нечітке, і керування протікає в умовах невизначеності щодо майбутнього стану, як керованих об'єктів, чи процесів, так їх зовнішнього оточення. Невизначеність породжує ризик неефективного управління – такого, що намічені цілі управління не досягаються. Зазначене стосується як технічних, так і економічних систем.

Класичним способом обліку невизначеності є теорія ймовірностей і математична статистика. Використання статистичних методів ускладнюється відсутністю статистичних даних або малим розміром вибірки з досліджуваних проблем. Наприклад, за тривалий

для енергетичного ринку період — 2 роки можна зафіксувати $12 \times 2 = 24$ значень щомісячного обсягу попиту, у той час як математична статистика, як мінімум, рекомендує 32 значення для побудови моделі економічного процесу чи системи. Однак за 3 роки, потрібні для збору 32-х значень, ринкові тенденції можуть неодноразово змінюватись, що ускладнить розробку та знизить статистичну надійність побудованих моделей. Але проблема не тільки в цьому.

Класична математика, в тому числі, теорія ймовірностей не оперує нечіткими (fuzzy [фазі] — англійський запис та транскрипція, хоча у літературних перекладах зустрічається і запис "фуззі-" чи "фаззі") лінгвістичними описами. Наприклад, до ставки дисконтування можна застосувати описи типу «низька», «середня», «висока», які типові для людини, та не ускладнюють розуміння економічних явищ та процесів. Натомість теорія нечітких множин не має зазначених вище недоліків, а навпаки, має низку додаткових переваг. Теорія нечітких множин закладена в фундаментальних роботах Лофті Заде в 70-і роки минулого сторіччя. Досягненням теорії нечітких множин є введення в ужиток так званих нечітких чисел як нечітких підмножин спеціалізованого виду, відповідних висловлювань типу "значення змінної приблизно дорівнює a ". З їх введенням виявилось можливим прогнозувати майбутні значення параметрів, які очікувано змінюються в установленому розрахунковому діапазоні.

Починаючи з кінця 70-х років, методи теорії нечітких множин починають застосовуватися в економіці — від оцінки ефективності інвестицій до кадрових рішень і заміни устаткування.

Завдяки використанню теорії нечітких множин, зокрема алгоритму нечіткого висновку, особи, відповідальні за прийняття рішень, отримують у ряді випадків швидку відповідь під час моделювання складних процесів за відсутності простої математичної моделі, коли нереально виробити задовільний щодо точності та компактності аналітичний опис задачі через значні затрати коштів та часу.

У теорії нечітких множин використовуються такі терміни та визначення:

Нечіткою множиною \tilde{A} на універсальній множині U називається сукупність пар $(\mu_A(u), u)$, де $(\mu_A(u))$ — міра належності елемента $u \in U$ нечіткій множині A .

Міра належності — це число з діапазону $[0, 1]$. Чим вища міра належності, тим більшою мірою елемент універсальної множини відповідає властивостям нечіткої множини. Тобто 100 % впевненості в справедливості певного твердження визначається мірою впевненості, рівною 1 ($\mu_A(u) = 1$), повна впевненість у хибності твердження відповідає нульовій мірі впевненості щодо його істини ($\mu_A(u) = 0$). Проте імовірнісний характер наших суджень за невизначених умов не завжди надає підстави для 100 % впевненості їх істинності, що кількісно може виражатись за допомогою діапазону чисел від 0 до 1.

Лінгвістична змінна — це змінна, значеннями якої можуть бути слова та словосполучення певної природної мови. Наприклад: "обладнання старе", "дисципліна персоналу висока", "ризик аварії катастрофічний", — слова-оціночні судження "старе", "висока", "катастрофічний" пов'язані із деякими числовими значеннями, зміна яких в реальному житті істотно впливає на нашу впевненість у справедливості подібних суджень. Так устаткування, що експлуатується 5 років або 12 років може визнаватись старим із різним рівнем впевненості.

Терм — будь-який елемент терм-множини. Наприклад, якщо завантаження обладнання може бути високим, середнім та низьким, то "завантаження обладнання" — це лінгвістична змінна, лінгвістичні оцінки "високе", "середнє", "низьке" — це терми, що в сукупності складають терм-множину. Терм задається нечіткою множиною за допомогою функції належності;

Функція належності — це функція, яка дозволяє для довільного елемента універсальної множини визначити його міру належності нечіткій множині. Для кількісного виміру рівня впевненості у належності деякого

значення u_i з універсуму U певному терму використовують функцію приналежності $\mu(u_i)$.

Логічний висновок (або фаззі-алгоритм) передбачає щонайменше 4 етапи (рис. 4.2):



Рис. 4.2. Основні етапи алгоритму нечіткого висновку (фаззі-алгоритму чи нечіткої системи)

1-й етап — «Фаззифікація», або введення нечіткості, полягає у формулюванні функцій належності для термів всіх вхідних та вихідних змінних, складанні системи правил нечіткого висновку й обґрунтуванні вагомості кожного правила.

Якщо позначити функцію належності i -ї вхідної нечіткої змінної (x_i) з інтервалу $[\underline{x}_i, \overline{x}_i]$ j -му нечіткому терму як \tilde{t}_{ij} для вхідної змінної, або \tilde{d}_{ij} для вихідної змінної. Тоді нечітка терм-множина, графічно відображена у вигляді зафарбованої частини під кривою, заданою функцією належності $\mu_j(x_i)$, може бути задана як визначений інтеграл за функцією належності $\mu_j(x_i)$ на відрізку $[\underline{x}_i, \overline{x}_i]$. Позначення \underline{x}_i та \overline{x}_i визначають відповідно ліву та праву межі інтервалу.

Поряд із визначенням лінгвістичних змінних, нечітка база знань повинна містити набір правил, кожне з яких являє собою інформаційну гранулу (4.1), в якій всі значення вхідних та вихідних (вихідної) змінної задаються нечіткими терм-множинами:

$$\left(b_1 = \tilde{t}_{1j} \Theta_j b_2 = \tilde{t}_{2j} \Theta_j \dots \Theta_j b_n = \tilde{t}_{nj} \text{ з вагою } \alpha_j \right) \Rightarrow \omega = \tilde{d}_j, j = \overline{1, m} \quad (4.1)$$

де b_1, b_2, \dots, b_n — найменування вхідних лінгвістичних змінних;

$\tilde{t}_{1j}, \tilde{t}_{2j}, \dots, \tilde{t}_{nj}$ — значення вхідної лінгвістичної змінної, якому відповідає певний лінгвістичний терм. Нижній індекс 1, 2, ... n вказує на порядковий номер вихідної змінної.

$j = \overline{1, m}$ — порядковий номер лінгвістичного терму вхідної або вихідної змінної. Звичайно, кількість лінгвістичних термів у різних змінних може бути різною.

ω — найменування вихідної лінгвістичної змінної, яких може бути декілька;

\tilde{d}_j — значення вхідної лінгвістичної змінної, якому відповідає певний лінгвістичний терм;

Θ_j — логічна операція, що пов'язує фрагменти передумови інформаційної гранули. Нею може бути одна з двох можливих логічних операцій "ТА" чи "АБО".

Введення нечіткості передбачає також і визначення міри виконання передумови кожного правила для деякого конкретного набору вхідних змінних $B^* = (b_1^*, b_2^*, \dots, b_n^*)$, яка визначається так (4.2):

$$\mu_j(B^*) = \alpha_j \left(\mu_j(b_1^*) \chi_j \mu_j(b_2^*) \chi_j \dots \chi_j \mu_j(b_n^*) \right), j = \overline{1, m} \quad (4.2)$$

де α_j позначає вагомість j -го правила у нечіткій базі знань;

χ_j відображає реалізацію логічної операції, використаної у j -му правилі, яка у формулі (4.1) позначена Θ_j і передбачає певну трикутну норму. У випадку використання логічної операції ТА ($\Theta_j = \text{ТА}$) χ_j відображає t -норму, якщо ж використана логічна операція АБО ($\Theta_j = \text{АБО}$) χ_j відображає s -норму. У нечіткому висновку Мамдані трикутні норми, зазвичай, реалізуються операціями мінімуму (t -норма) та максимуму (s -норма). Проте трикутні норми можуть реалізовуватись відповідно до імовірнісних операцій ТА та АБО з використанням формул (4.3) та (4.4):

— у випадку t -норми (операція ТА) для K термів j -го правила:

$$\mu_j(b_i) = \bigwedge_{i=1}^K \mu_j(b_i) \quad (4.3)$$

— у випадку s -норми (операція АБО) для K термів j -го правила:

$$\mu_j(b_i) = \bigvee_{i=1}^K \mu_j(b_i) = 1 - \prod_{i=1}^K (1 - \mu_j(b_i)) \quad (4.4)$$

На 2-му етапі — «Логічний висновок» — визначається міра істинності висновку кожного з правил бази знань на підставі міри істинності їх передумов. Для переходу до нечіткої множини на носії $[\underline{\omega}_j, \overline{\omega}_j]$ виконують операції імплікації (*imp*) та агрегування (*agg*), остання виконується на наступному 3-му етапі фаззі-алгоритму. Імплікація може виконуватись операціями мінімуму, що графічно відображається «зрізанням» функції належності j -го терму вихідної змінної ($\mu_{d_j}(\omega)$) за рівнем значення передумови цього правила для вектору вхідних змінних ($\mu_j(B^*)$).

Імовірнісний характер правил нечіткої бази знань, коли «інформаційні гранули» (4.1) формулюють умовну імовірність, на наш погляд, доцільно врахувати шляхом використання у ролі імплікації операції добутку (*prod-активації*). Графічно *prod-активація* відображається «масштабуванням» функції належності j -го терму вихідної змінної ($\mu_{d_j}(\omega)$) з коефіцієнтом, визначеним мірою істинності передумови цього правила для вектору вхідних змінних ($\mu_j(B^*)$). У результаті логічного висновку по j -му правилу бази знань (з m правил) конкретизується нечіткі терми (d_j) вихідної змінної ω_j (4.5):

$$\tilde{d}_j^* = \text{imp}(\tilde{d}_j, \mu_j(B^*)) = \mu_j(B^*) \times \int_{\omega_j \in [\underline{\omega}_j, \overline{\omega}_j]} \mu_j(\omega_j) d\omega_j, \quad j = \overline{1, m} \quad (4.5)$$

Звичайно, реалізація цього і подальших етапів алгоритму нечіткого висновку можлива за умови наявності у кожній із вихідних змінних конкретних значень.

На 3-му етапі «Композиція» всі нечіткі терми вихідних змінних об'єднуються, що графічно виявляється у побудові криволінійної фігури. У результаті логічного висновку по всій базі знань, що передбачає агрегування нечітких множин (4.6), отримуємо акумульовану функцію належності кожної із вихідних змінних. Агрегування нечітких множин (*agg*) найчастіше реалізується операцією максимуму:

$$\tilde{\omega} = \text{agg} \left(\tilde{d}_1^*, \tilde{d}_2^*, \dots, \tilde{d}_m^* \right) = \max \left(\tilde{d}_1^*, \tilde{d}_2^*, \dots, \tilde{d}_m^* \right) \quad (4.6)$$

На підставі сукупності функцій належності вихідних змінних здійснюється завершальний 4-й етап процедури нечіткого висновку — «Дефаззифікація», у результаті якого набір нечітких висновків перетворюється у чітке число. Як уже зазначалось, найчастіше дефаззифікація виконується за методом «центру ваги», тобто чітке значення вихідної змінної відповідає абсцисі центру ваги криволінійної фігури, утвореної на етапі композиції, яку можна обчислити за формулою (4.7):

$$\omega^* = \frac{\max_{\min} \int \omega \times \mu(\omega)}{\max_{\min} \int \mu(\omega)} \quad (4.7)$$

де ω^* — результат дефаззифікації,

ω — змінна з універсальної множини (області значень) вихідної змінної,

$\mu(\omega)$ — функція належності, яка відповідає вихідній лінгвістичній змінній після етапу акумуляції;

\min і \max — ліва і права точки інтервалу носія нечітких множин термів вихідної змінної, що аналогічно визначенню меж відрізка $[\underline{\omega}_i, \overline{\omega}_i]$.

Кожен із чинників-детермінант результативного показника може випадковим чином варіюватись відносно свого середнього значення і набувати лінгвістичних оцінок типу «значно зріс», «дещо знизилась». Тому розмах можливих значень, що спостерігатиметься для цих вхідних змінних на певному підприємстві, можна розглядати як універсальні множини, на яких можна виділити нечіткі терми: «помітне зниження», «неістотне зниження», «стабільність», «неістотне зростання», «помітне

зростання» — підмножини на всій сукупності значень універсуму вхідної змінної.

Поряд із найбільш розповсюдженим алгоритмом нечіткого висновку Мамдані, вони рекомендують використовувати алгоритм Ларсена для розв'язання проблем управління фінансовими процесами. Алгоритм Ларсена передбачає використання гаусових функцій належності, імплікації з використанням операції добутку та центроїдний метод дефазифікації.

Функція належності — це функція, яка дозволяє для довільного елементу універсальної множини визначити його міру належності нечіткій множині. Так, якщо рівень зносу обладнання складає 30 %, стверджувати що обладнання нове можна не із 100 % упевненістю, а лише будучи впевненим в істинності висловлювання на 70 %. Також некоректно із повною, на всі 100 %, упевненістю говорити, що обладнання зношене, якщо сукупний його знос оцінюється на рівні 30 % — впевненість у справедливості такого висловлювання навряд чи перевищить 30 %, враховуючи сучасний стан основних засобів вітчизняної енергетики. Отже функція приналежності $\mu(u_i)$ дозволяє кількісно встановити міру впевненості в тому, що деяке значення u_i — аргумент функції належності належить певному терму.

Найбільшого розповсюдження і використання у прикладних задачах отримали трикутна, трапецієвидна, гауссова та сигмоїдна функції належності. Гаусові функції належності використовують для термів (терм-множин), зіставних з поняттями "в межах норми", «задовільна», «своєчасно», "середній" і подібних. Для термів типу "низький", «незадовільно», або «із випередженням графіку», які характеризують невизначеність типу «невелике значення», задаючи незростаючу залежність з насиченням, обрано z-подібну двопараметричну сплайн-функцію. Аналогічно для термів "високий", "великий", або ж «із запізненням» і «бездоганна», які характеризують невизначеність типу «велике значення» і задають неубуваючі функції із насиченням обрано s-подібну двопараметричну сплайн-функцію.

Сплайн-функція z-подібної кривої задається наступною системою:

$$\mu(u, a, b) = \begin{cases} 1, & u \leq a; \\ 1 - 2 \cdot \left(\frac{u - a}{b - a} \right)^2, & a < u \leq \frac{a + b}{2}; \\ 2 \cdot \left(\frac{b - u}{b - a} \right)^2, & \frac{a + b}{2} \leq u < b; \\ 0, & b \leq u \end{cases} \quad (4.8)$$

де a, b — параметри функції, впорядковані співвідношенням $a < b$. Якщо значення змінної перебуває в інтервалі $[a..b]$, то належність її певному терму не є однозначною, а значення функції приналежності розкриває величину невпевненості у справедливості тої чи іншої ознаки.

Сплайн-функція s-подібної кривої задається наступною системою:

$$\mu(u, a, b) = \begin{cases} 0, & u \leq a; \\ 2 \cdot \left(\frac{u - a}{b - a} \right)^2, & a < u \leq \frac{a + b}{2}; \\ 1 - 2 \cdot \left(\frac{b - u}{b - a} \right)^2, & \frac{a + b}{2} \leq u < b; \\ 1, & b \leq u \end{cases} \quad (4.9)$$

де a, b — параметри функції, аналогічно до формули (4.8).

Гаусова функція належності задається залежністю:

$$\mu(u) = \exp \left(-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{u - m}{\sigma} \right)^2 \right) \quad (4.10)$$

де m — координата максимуму функції приналежності,

σ — коефіцієнт концентрації, який дорівнює середньо-квадратичному відхиленню змінної.

У численних теоретичних дослідженнях і прикладних розробках [29 – 33] пропонується поєднання нейромереж та фаззі-алгоритмів

у гібридні системи, застосування яких для управління господарськими ризиками енергопідприємств буде розглянуто й у подальших підрозділах даного посібника. Однак у випадку подібного автоматичного налаштування нечітких систем, яке здійснюється з використанням градієнтних методів можна використовувати тільки нелінійні гладкі функції із простими похідними. Через компактність запису значного розповсюдження, в тому числі й в моделюванні економічних процесів [29] здобула дзвоноподібна функція належності (bell-shaped), що задається формулами:

$$\mu_j(u_i) = \frac{1}{1 + \left(\frac{u_i - c}{a} \right)^{2 \cdot b}} \quad (4.11)$$

або, якщо для зручності обчислень прийняти $|b| = 1$,

$$\mu_j(u_i) = \frac{1}{1 + \left(\frac{u_i - c}{a} \right)^{\pm 2}} \text{ й} \quad (4.12)$$

константи a, b, c якої упорядковані співвідношенням

$$a < b < c, \quad b > 0, \quad (4.13)$$

де c — координата максимуму функції належності, тобто таке значення з універсуму економічних параметрів, впевненість щодо належності якого до j -го терму досягає максимального одиничного значення,

b — коефіцієнт крутизни функції належності, що обов'язково є додатним числом. Під час дослідження процесів розвитку фінансово-економічних систем [29] використано дзвоноподібну функцію належності (4.12), у якій константа $|b|=1$, завдяки чому

вдалося уникнути надмірно складних обчислень й забезпечити зручність налаштувань фаззі-алгоритмів при допомозі ітераційних методів,

a — коефіцієнт концентрації функції належності.

Під час проектування систем нечіткого висновку константу a можна визначити розрахунково, виходячи з експертних оцінок тих підмножин універсуму U , які не є носіями нечіткої множини \tilde{d}_i . Для таких елементів універсальної множини u_i функція належності має дорівнювати нулеві: $\mu_j(u_i) = 0$. Однак тоді під час розрахунку константи a виникне невизначеність, пов'язана із діленням на нуль. Якщо ж дещо послабити категоричність судження щодо належності u_i до нечіткої множини \tilde{d}_i , припустивши слабку, у 1 %, міру впевненості щодо цього $\mu_j(u_i) = 0,01$, параметр a можна обчислити із рівняння:

$$\mu_j(u_i) = \frac{1}{1 + \frac{1-c}{a}^{2.1}} = 0,01 \Rightarrow a = \frac{1-c}{\sqrt{100-1}} \Rightarrow a = \frac{1-c}{9,95} \quad (4.14)$$

Отримане значення константи задовольнятиме умовам (4.13). Графік дзвоноподібної функції належності наведено на рис. 4.3 — він відповідає терму "близько 3,5 разів", що по відношенню до оборотності оборотних активів енергопідприємств може бути визнано як середній рівень ("middle")

Згідно (4.11), дзвоноподібна функція може бути і S і Z типу: якщо $b=1$ (або $b>0$), функція спадна, її графік нагадує букву Z (z -подібний) і може використовуватись для термів які характеризують невизначеність типу «невелике значення», якщо ж якщо $b=-1$ (або $b<0$), функція зростаюча, її графік нагадує букву S (s -подібний) і може використовуватись для термів які характеризують невизначеність типу «велике значення».

Отже функції належності термів на позначення невизначеностей типу «незначний», «помірний», «нетривалий», або «значний», «стрімкий», «тривалий», визначених для всіх вхідних і вихідної змінних, мають бути S та Z типу.

Подібно до попередньої, одночасно до обох типів належить сигмоїдальна функція (сигмоїд), що є нелінійною та в загальному вигляді задається формулою:

$$\mu_j(u_i) = \frac{1}{1 + e^{-a \cdot (u_i - b)}}, \quad (4.15)$$

де a , b числові параметри, які можуть набувати довільних дійсних значень, а e — основа натуральних логарифмів. При цьому параметр b задає координату переходу через 0,5. Інакше кажучи параметру b відповідає максимальна невизначеність щодо належності чіткого значення до нечіткої множини, коли ентропія суджень досягає максимального значення 0,5. По мірі віддалення від цієї константи (b) у той чи інший бік впевненість щодо належності певного показника терм-множині або прискорено зростає, наближаючись до 1, або прискорено скорочується, асимптотично наближаючись до 0.

Константа a характеризує коефіцієнт крутизни, а її знак визначає форму кривої й тип функції належності U випадку, якщо $a < 0$, функція належить до Z типу, якщо ж $a > 0$, функція належить до S типу. Таким чином, два нечіткі терми, що характеризують протилежні ознаки можна сформулювати при допомозі одної пари абсолютних значень констант. Звичайно, така особливість полегшує процес проектування нечіткої системи та спрощує практичне застосування широким колом осіб. Встановлення абсолютних значень констант a і b , на наш погляд, має виконуватись на підставі аналізу статистичних характеристики вибірки спостережень щодо динаміки економічних процесів не лише окремого енергетичного підприємства, але й деякої сукупності його аналогів, чи, навіть, цілої галузі.

Нечіткі множини зручно задавати не лише в параметричній формі, тобто задаючи функції належності, але й у вигляді графіків (рис. 4.3). У такому випадку кожна точка координатної площини визначається впорядкованою парою координат, що визначають значення з універсуму

та міру належності цього чіткого числа нечіткій терм-множині. Тобто, задаючись певним чітким значенням змінного показника як абсцисою (u_i), й проводячи вертикальну лінію з неї, визначають ординату перетину цієї лінії із кожним графіком лінгвістичного терміну. Ординати точок перетину — значення функції належності $\mu_j(u_i)$.

Так, згідно з рис. 4.3, оборотність оборотних активів енергопідприємств, рівну 3-м оборотам на рік, можна визначити як середню із упевненістю у 20 % ($\mu_m(3) = \frac{1}{1 + \frac{3-3,5}{0,25}} = 0,2$, тобто 20 %), у той же час

впевненість, що такий рівень ділової активності є низьким — 73 % ($\mu_l(3) = \frac{1}{1 + e^{2 \cdot (3-3,5)}} = 0,7311$, тобто 73 %).

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Що таке лінгвістична змінна? Чим відрізняється терм від терм-множини?
2. Охарактеризуйте етапи нечіткого логічного висновку.
3. Надайте визначення поняттю "функція належності". Які ви знаєте типи функцій належності?
4. Запишіть рівняння s-подібної функції належності терму "великий збиток", якщо збиток в розмірі 500 тис. грн. і вище із 100 % впевненістю визнається великим, а збиток, що не перевищує 20 тис. грн в жодному разі не може бути визначеним як великим. Наведіть графічну інтерпретацію цієї функції належності.
5. Функція належності якого типу могла бути застосованою для терм-множини "незначний збиток". Запишіть її рівняння та побудуйте графік, врахувавши, що впевненість в тому, що збиток незначний поступово знижується із перевищенням збитком 20 тис. грн., а збиток в сумі 100 тис грн. в жодному разі не може бути визначеним як великим.

6. За підсумками звітного року збиток склав 75 тис. грн. З якими рівнями впевненості можна його визнати великим та незначним згідно з умовами завдань 4,5.
7. Як виконується *prod*-активація і *min*-активація? На яких етапах нечіткого логічного висновку слід виконувати ці операції?

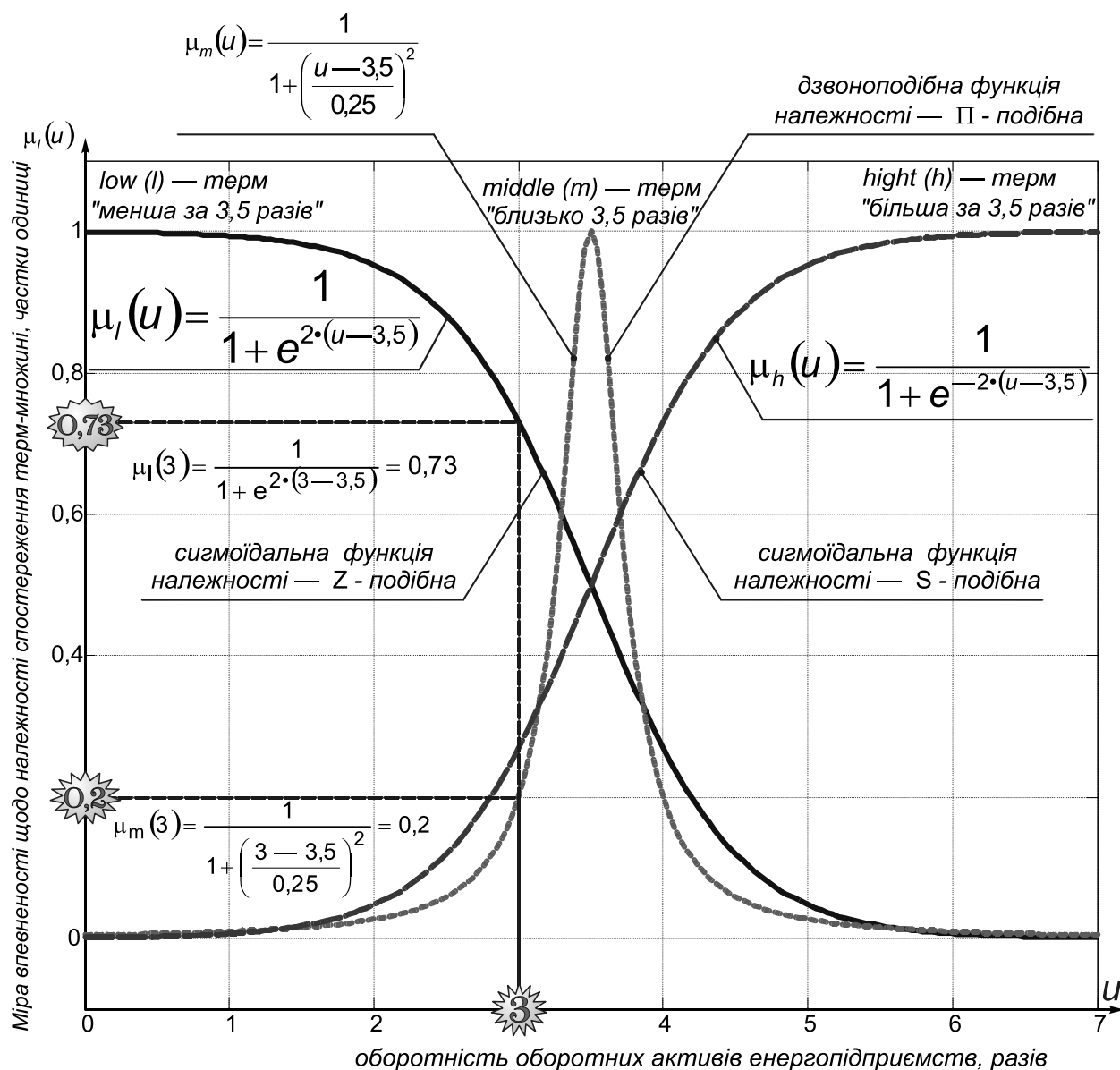


Рис. 4.3. Функції належності терм-множин нечіткої змінної «оборотність оборотних активів енергопідприємств»

4.2 Оцінка виробничо-технічного ризику на основі нечіткої системи Мамдані-Ларсена

Для суб'єктів енергетичного ринку технічний ризик виходу з ладу обладнання є значною загрозою безпеки. Кількісне значення такого ризику може визначатись за найбільш імовірної суми додаткових витрат, пов'язаних із відновленням технічних засобів та підтримкою їх у робочому стані. В умовах нестабільного економічного оточення додаткові витрати доцільно визначати у відносних показниках, зокрема у відсотках (позначимо їх як $\Delta\%$), порівняно із базовим роком:

$$\Delta\% = \frac{Y_{оч} - Y_{баз}}{Y_{баз}}, \quad (4.16)$$

де $Y_{оч}$ та $Y_{баз}$ — відповідно показники витрат на експлуатацію обладнання, очікувані у плановому періоді та понесені у базовому періоді, яким, наприклад, може бути *минулий рік*). Крім того, розрахунок додаткового відсотку зростання витрат має виконуватись у порівняних цінах, тобто в цінах базового року. Надалі отриманий показник слід скорегувати на індекс зростання цін на продукцію машинобудування порівняно до базового періоду ($I_{цм}$). Цей індекс можна отримати із офіційної статистичної інформації Державної служби статистики України, що публікується і періодично оновлюється на сайті www.ukrstat.gov.ua

Таким чином, оцінка технічного ризику дозволяє обґрунтовано визначити планові витрати ($Y_{пл}$) на експлуатацію обладнання, використавши індексний метод:

$$Y_{пл} = Y_{баз} \times (1 + \Delta\%) \times (1 + I_{цм}). \quad (4.17)$$

Відсоток зростання витрат на експлуатацію обладнання ($\Delta\%$) через ризик аварійних відмов в умовах невизначеності за формулою (4.16) обчислити досить складно. Проте задача значно спрощується

за використання фаззі-алгоритмів, побудованих на основі експертних оцінок. Наведемо приклад проектування такого алгоритму нечіткого висновку для оцінювання технологічного ризику енергопідприємств. У наступному параграфі даного посібника буде показано як реалізується подібний алгоритм в програмному середовищі MATLAB.

Етапи проектування алгоритму збігаються із визначеною на рис. 4.2. послідовністю. Поряд із найбільш розповсюдженим алгоритмом нечіткого висновку Мамдані, в практичному використанні здобув розповсюдження *алгоритм Ларсена* як універсальний апроксиматор нечіткого висновку. Алгоритм Ларсена передбачає використання гаусових функцій належності, імплікації з використанням операції добутку та центроїдний метод дефазифікації. У загальному вигляді структура фаззі-алгоритму для прогнозування змін витрат на експлуатацію обладнання енергопідприємств наведена на рис. 4.4.

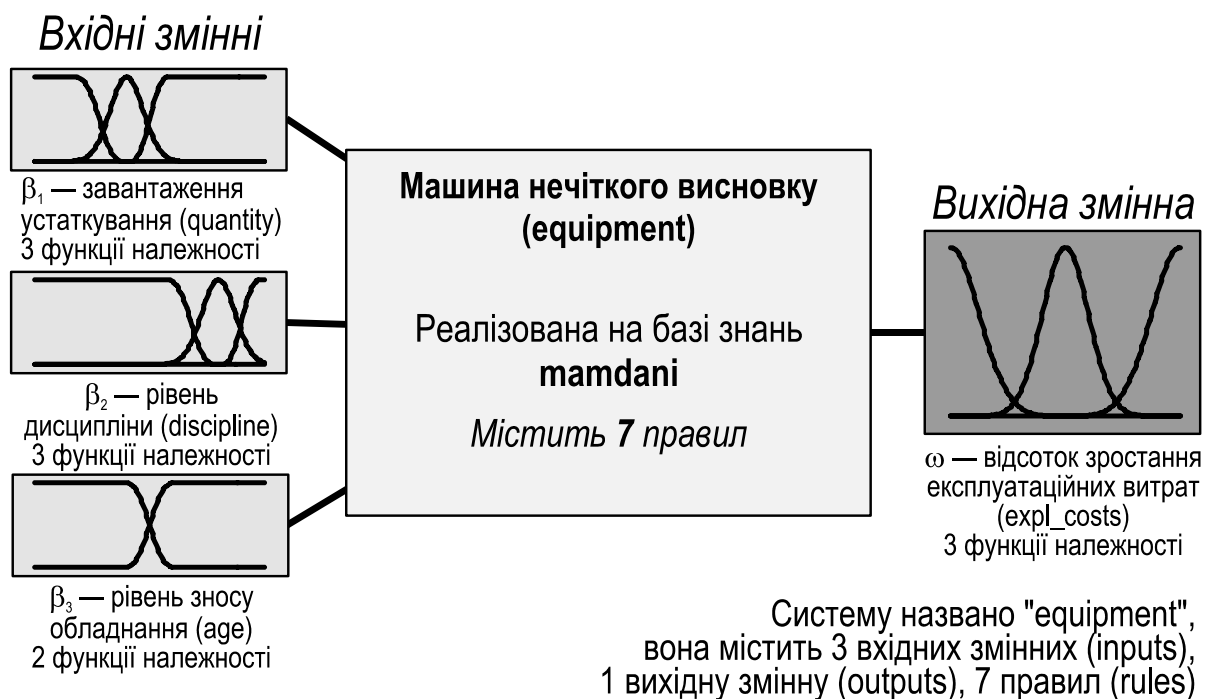


Рис. 4.4. Структура фаззі-алгоритму для визначення технічних ризиків підприємств енергетики

На цій схемі назви вхідних і вихідної змінних, а також всього алгоритму подано ще й англійською мовою. Подвійні назви, українську й англійську використану тому, що запропонований фаззі-алгоритм було реалізовано в програмному середовищі MATLAB, яке сприймає введення символів в основному кодуванні ASCII (англомовний регістр або латиниця) набагато краще за додаткове (кирилицю).

Під час проектування системи технічного ризику суб'єктів енергоринку була задана трьохелементна множина вхідних лінгвістичних змінних (ЛП):

$$V = \{\beta_1, \beta_2, \beta_3\},$$

де β_1 — «рівень завантаженості устаткування»,
 β_2 — «рівень виробничої дисципліни персоналу»,
 β_3 — «рівень зносу устаткування, визначений за строком життя».

У кожному конкретному (і-му) випадку кількісні чіткі значення входів можна визначити так:

β_1 — «рівень завантаженості устаткування»: можна визначити за допомогою коефіцієнта використання поточної потужності ($K_{в.п}$), який обчислюється за формулою:

$$K_{в.п} = \frac{ВП_{ф(пл)}}{ВП},$$

де $ВП_{ф(пл)}$ — фактичний (плановий) річний випуск продукції у натуральному або вартісному вираженні;

$\overline{ВП}$ — середньорічна виробнича потужність підприємства у натуральному або вартісному вираженні, яку розраховують за формулою:

$$Q_{ср} = Q_{вх} + Q_{введ} \cdot \frac{m_1}{12} - Q_{вивед} \cdot \frac{m_2}{12} + Q_{ф} \cdot \frac{m_3}{12} \quad (4.18)$$

де $Q_{вх}$, $Q_{введ}$, $Q_{виввед}$ — вхідна на початок року, введена та виведена з експлуатації виробнича потужність. Під виробничою потужністю розуміють максимально можливий обсяг випуску продукції за певну одиницю часу з використанням прогресивних технологій при повному завантаженні виробничого обладнання та виробничих площ.

Q_{ϕ} — приріст виробничої потужності за рахунок планового підвищення продуктивності роботи обладнання (організаційні та інші заходи, що не вимагають капітальних вкладів).

m_1, m_2, m_3 — кількість повних місяців до кінця року, протягом яких відповідно працювали введені потужності, не працювали виведені потужності, а також було отримано економічний ефект від організаційних нововведень.

Для використання фаззі-алгоритму показники $Q_{вх}$, $Q_{введ}$, $Q_{виввед}$, Q_{ϕ} доцільно визначати на плановий період, а за відсутності істотних змін у кількості і структурі парку устаткування — за останній рік, що передує плановому періоду.

Необхідність формування резервних потужностей для забезпечення безперебійної роботи підприємств на рівні 10 — 15 % загальної потужності підприємства (для енергетики у зарубіжній практиці цей відсоток значно вищий — до 30 % відсотків загальної потужності підприємства) визначає економічно обрнуте значення коефіцієнту використання поточної потужності ($K_{в.п.}$): співвідношення річного випуску продукції до середньорічної її величини має перебувати в межах 0,85 — 0,9. Вищі показники сигналізують про зростання ризику виробничих аварій та відмов роботи устаткування, що тягне за собою додаткові ремонтно-експлуатаційні витрати, нижчі ж значення свідчать про неефективну роботу парку основних засобів енергетичних підприємств.

β_2 — «рівень виробничої дисципліни персоналу» можна оцінити за відсотком точного виконання інструкцій з технічної експлуатації обладнання у загальній кількості випадків користування технологічним енергетичним устаткуванням. У кожному конкретному випадку значення

цього показника визначається на підставі тривалих спостережень за роботою основних виробничих робітників. З огляду рекомендацій математичної статистики, поданих на початку п. 4.1. цього навчального посібника, кількість спостережень не повинна бути меншою, ніж 32. Таким чином, рекомендуємо користувачам даного алгоритму враховувати показники техніко-технологічної дисципліни робітників виявлені протягом останніх 2-х місяців.

β_3 — «рівень зносу устаткування, визначений за строком життя» ґрунтується на тому, що метод строку життя базується на обґрунтованому припущенні про залишковий строк економічного життя. При застосуванні цього методу всі наявні види зносу об'єкта оцінки вважаються повністю врахованими [34]. Згідно з методом строку життя, знос визначається за формулою:

$$\beta_{3_i} = Z = \frac{\Phi B}{CEЖ} \quad , \quad (4.19)$$

де Z — рівень сукупного зносу, частина одиниці;

ΦB — фактичний вік, років, тобто період часу від введення в експлуатацію до дати початку планового періоду;

$CEЖ$ — строк економічного життя, років, тобто період часу від моменту початку експлуатації до завершення використання за функціональним призначенням. Об'єкт може ще перебувати в придатному стані, але нормативно експлуатувати його за функціональним призначення не можна. Відповідно із [34], *строк економічного життя* земельних поліпшень — період, протягом якого дохід, що отримується або передбачається отримати від земельних поліпшень, перевищує операційні витрати, пов'язані з отриманням цього доходу.

Строк економічного життя земельних поліпшень відображає строк, протягом якого витрати на підтримання земельних поліпшень у придатному для експлуатації стані є такими, що окуповуються земельне

поліпшення — результати будь-яких заходів, що призводять до зміни якісних характеристик земельної ділянки та її вартості. До земельних поліпшень належать матеріальні об'єкти, розташовані у межах земельної ділянки, переміщення яких є неможливим без їх знецінення та зміни призначення, а також результати господарської діяльності або проведення певного виду робіт (зміна рельєфу, поліпшення ґрунтів, розміщення посівів, багаторічних насаджень, інженерної інфраструктури тощо). Відповідно до цих роз'яснень, чимала частина обладнання енергопідприємств може визнаватись земельним поліпшенням.

Множину вихідних ЛП достатньо задати одноелементною:

$$W = \{\omega_1\},$$

де ω_1 — «відсоток зростання експлуатаційних витрат».

Розглянемо процес проектування фаззі-алгоритму за основними етапами.

1-й етап — «Фаззифікація», або введення нечіткості передбачає формування нечіткої бази знань як сукупності термів нечітких змінних і бази правил.

Вхідні лінгвістичні змінні β_1 та β_2 можуть набувати трьох значень: «низький», «задовільний» та «високий», що відображено 3-ма схематичними графіками функцій належності на рис. 4.4. Область визначення обох змінних (універсальну множину) встановлено в межах інтервалу $[0,75 \dots 1]$. Нижній межі інтервалу 0,75 відповідає 25 % резервної потужності, а також 25 % випадків порушення виробничої дисципліни — для сучасних енергогенеруючих та розподільчих компаній нижчі показники завантаження економічно не доцільні, оскільки не дозволяють окупити навіть змінні виробничі витрати, а низька техніко-технологічна дисципліна неприпустима ще й з вимог техніки безпеки персоналу.

Тому величини менше 0,75 до моделі включено не було, оскільки енергетичні підприємства, якість виробничої дисципліни та обсяги випуску

продукції яких занижкі, не на продовження існування за сучасних економічних умов.

Вхідна змінна β_3 , що характеризує знос обладнання, може набувати тільки 2 значення: «низький» та «високий», що відображено 2-ма схематичними графіками функцій належності на рис. 4.4. Область визначення (універсальну множину) цієї змінної встановлено в межах інтервалу $[0..1]$. Нижній межі інтервалу відповідає нове устаткування, а верхній — повністю зношене, яке досить розповсюджене на вітчизняних енергетичних підприємствах.

Термами вихідної лінгвістичної змінної ω_1 обрано є трохелементна множина $\omega_1 = \{\text{«зростання»}, \text{«відповідність базовому періоду»}, \text{«економія»}\}$. Універсальна множина цієї змінної — інтервал $[-0,2..0,2]$, що означає 20 %-ві межі зміни витрат на експлуатацію обладнання у той чи інший бік, порівняно із значенням базового періоду.

Межі кожного терму визначаються експертними даними стосовно рівня завантаженості й зносу обладнання, дисципліни персоналу підприємств енергетики.

Так, якщо частка випадків порушення технічних умов експлуатації обладнання складає 20 %, стверджувати, що рівень дисципліни високий із 100 % упевненістю не можна — впевненість у справедливості такого висловлювання навряд чи перевищить певний поріг, звичайно менший за 1 (100 %), враховуючи рівень складності робіт і вимоги техніки безпеки використання енергетичного обладнання. Отже функція належності $\mu(u_i)$ дозволяє кількісно встановити міру впевненості в тому, що деяке значення u_i — аргумент функції належності належить певному терму. Для алгоритму Мамдані-Ларсена застосовано s- та z-подібні, а також гаусові функції належності, залежно від типу нечіткості (формули 4.8 — 4.9), зокрема для всіх термів вихідної змінної і для термів вхідних змінних, таких як «у межах норми», використано Гаусові функції належності (4.10), для яких у табл. 4.1 наведено кількісні значення m та σ .

На практиці значення математичного очікування (m) та стандартного відхилення σ для терм-множин визначають або на підставі експертних

оцінок, або шляхом статистичного аналізу ретроспективних спостережень. Якщо система нечіткого висновку проектується з метою використання на рівні цілої галузі чи національної економіки, варто вдасться до більш складних методів підготовки (передпроцесування) наявної навчальної вибірки інформації — *нечіткої кластеризації*, сутність і прикладні способи застосування якої викладено, наприклад, в [30; 31; 35].

Таблиця 4.1

Параметри гаусових функцій належності, використаних в спроектованій системі нечіткого висновку

Лінгвістична змінна	Назва терму	Координата максимуму ФП, m	середньоквадратичне відхилення змінної, σ
Вхідні змінні			
рівень завантаження устаткування	в межах норми	0,85	0,018
рівень дисципліни	в межах норми	0,95	0,03
Вихідні змінні			
відсоток зростання експлуатаційних витрат	економія	—0,2	0,05
	відповідність базовому періоду	0	0,04
	зростання	0,2	0,05

Так, задовільному рівневі завантаження устаткування відповідає плановий річний випуск в обсязі $85 \% \pm (3 \times 1,8) \%$ від середньорічної потужності (розрахованої за формулою (4.18)), рівень дисципліни в межах норми — дотримання правил експлуатації устаткування у $95 \% \pm (3 \times 3) \%$ загальної кількості випадків використання такої техніки, а відповідність експлуатаційних витрат базовому періоду може коливатись в діапазоні $\pm (3 \times 4) \%$ від минулорічної суми таких витрат без урахування зміни цін на продукцію машинобудування чи послуги з ремонту техніки. Економія ремонтно-експлуатаційних витрат в цінах попереднього року виявляється у зниженні їх на $20 \% \pm (3 \times 5) \%$, а преміювання передбачає таке ж зростання витрат на утримання й використання енергетичного устаткування. Звичайно, коли величина якоїсь із змінних з універсуму

попаде у зазначені інтервали, стверджувати про її належність відповідно «нормальному», чи «базовому», як іншим термам, можна із різним рівнем впевненості, який визначається на 3-му етапі нечіткого висновку.

Сплайн-функція z -подібної кривої задані системою (4.8) використано для термів "низький", які наявні у кожної з вхідних змінних. Параметри a , b z -подібних функцій належності, відповідних термів вхідних лінгвістичних змінних зведено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

**Параметри z -подібних функцій належності, використаних
в спроектованій системі нечіткого висновку**

Лінгвістична змінна	Назва терму	Величина, вище якої належність показнику терму не є однозначною, a	Величина, вище якої показник не може належати терму, b
Вхідні змінні			
рівень завантаження устаткування	низький	0,795	0,845
рівень дисципліни	низький	0,895	0,945
рівень зносу обладнання	низький	0,4	0,6

Так, із повною впевненістю рівень завантаження устаткування та рівень дисципліни визнається низьким, якщо плановий випуск продукції нижче за 79,5 % середньорічної потужності, а вимоги експлуатації обладнання виконуються менше, ніж у 89,5 % всіх випадків користування обладнанням. Якщо ж випуск продукції коливається в межах 79,5 % — 84,5 % досягнутої середньорічної потужності, а суворе дотримання технічних умов експлуатації обладнання оцінюється в межах 89,5 % — 94,5 % всіх спостережень незадовільним такий рівень завантаження чи дисципліни можна охарактеризувати із лише деякою невпевненістю. Сумніви і невпевненість у низькому рівні зносу устаткування можуть виникати, якщо співвідношення фактичного віку зі строком економічного життя (формула (4.19)) складає 0,4 — 0,6. Коли величина якоїсь із змінних

з універсуму перебуває в зазначених інтервалах, міру її відповідності термам визначають на 3-му етапі нечіткого висновку.

Сплайн-функцію s -подібної кривої, заданої системою (4.9), використано для терму "високий" всіх вхідних змінних. Параметри a, b s -подібних функцій належності, відповідних термів вхідних лінгвістичних змінних зведено в табл. 4.3.

Так, із повною впевненістю можна стверджувати про високий рівень:

- завантаження устаткування, якщо у плановому році випуск перевищить 89,5 % середньорічної потужності;
- дисципліни, якщо у 99,5 % всіх випадків використання обладнання персонал в точності виконує посадові інструкції;
- зносу обладнання, якщо співвідношення фактичного віку зі строком економічного життя (формула (4.19)) перевищує 0,6.

Таблиця 4.3

Параметри s -подібних функцій належності, використаних у спроектованій системі нечіткого висновку

Лінгвістична змінна	Назва терму	Величина, вище якої належність показнику терму не є однозначною, a	Величина, вище якої показник належить терму із повною упевненістю, b
Вхідні змінні			
рівень завантаження устаткування	високий	0,855	0,895
рівень дисципліни	високий	0,955	0,995
рівень зносу обладнання	високий	0,4	0,6

За нижчих чітких значень кожної з 3-х вхідних змінних, звичайно, виникають сумніви і невпевненість щодо високого їх рівня. Коли величина якоїсь із змінних з універсуму перебуває в інтервалах, обмежених значеннями табл. 4.3, міру її відповідності термам визначають на 3-му етапі нечіткого висновку.

Терми лінгвістичних змінних можуть перетинатися, це відповідає реальній ситуації, коли одне й те ж значення універсальної множини можемо із різним рівнем впевненості віднести до того чи іншого терму. Деякі автори, наприклад [36], рекомендують таким чином визначати кількісні параметри функцій належності, щоб вони перетинались в точках з ординатою $\mu_j(u_i) = 0,5$, що відповідає максимальній невизначеності щодо належності чіткого значення до тої чи іншої нечіткої терм-множини. Проте ця умова не є обов'язковою. Основною відмінністю між теорією нечітких множин і теорією імовірностей якраз і є необов'язковість умови "повної групи подій". Тобто сума значень функцій належності, обчислених для одного й того ж чіткого числа з універсуму *не обов'язково дорівнює 1*:

$$\sum_{j=1}^J \mu_j(u_i) \neq 1.$$

Для побудови системи прийняття рішень необхідною умовою є наявність залежності: $\omega_1 = f(\beta_1, \beta_2, \beta_3)$. Тобто, кількісна величина залежної змінної визначається як значення трьох аргументної функції від вхідних незалежних змінних. Розрахунок результативного значення в теорії нечіткої логіки визначається за значеннями вхідних змінних на основі встановлених параметрів їх функцій належності та заданого набору правил прийняття рішень. Сукупність нечітких правил роботи об'єкта утворюють базу знань (або нечітку базу знань).

Кожне правило записується в окремому рядку бази. Максимальна кількість правил у базі знань для завдання трьох вхідних та одної вихідної змінної становитиме $3^3=27$. Однак для адекватного відображення

залежності «входи — вихід» необхідно значно менше нечітких правил, зокрема в роботі [30, с. 48] зазначено, що мінімальна кількість правил може перебувати в межах 3 — 13 % від максимальної кількості. Для проектованої системи це значення дорівнює $(0,13 \times 27) \Rightarrow 4$ правила.

Однак, внаслідок технічних можливостей редактору системи нечіткого висновку **FIS (Fuzzy Inference System)** системи **MATLAB**, які не дозволяють сполучати в одному правилі обидва логічні оператори «AND» та «OR», кількість правил в системі зросла майже вдвічі, до 7. Базу знань зручно задавати у вигляді таблиці, кількість рядків якої відповідає кількості правил. Кількість стовпців визначається кількістю вхідних та вихідних змінних та кількістю логічних зв'язок між входами, що на 1 менша за кількість входів. У клітинках таблиці, що відповідають входам, зазначається терм, яким оцінюється відповідна вхідна змінна у певному правилі, а в клітинках, що відповідають виходам, — терм висновку цього правила. У стовпчиках призначених для логічних зв'язок зазначається "ТА" чи "АБО", в залежності від висновків експертів. Невпевненість експертів в адекватності правил враховується за допомогою вагових коефіцієнтів (α). У табл. 4.4 наведено базу знань для проектованого фаззі-алгоритму. Як свідчить аналіз таблиці, для в істинності всіх правил експерти впевнені на 100 %.

Проілюструємо альтернативний спосіб подання правил, з яким зустрічаються користувачі програмному середовищі MATLAB:

Правило № 1. ЯКЩО «рівень завантаження = високий» ТА «знос обладнання = високий», ТО «експлуатаційні витрати = зростуть».

Аналогічне визначення решти правил разом із способом їх програмної реалізації буде наведено в наступному підрозділі даного посібника.

Цим завершується проектування фаззі-системи, а подальші етапи нечіткого висновку здійснюються за умови наявності у кожній із вихідних змінних конкретних значень, а результатом останньої 4-ї стадії алгоритму — дефазифікації є чітке кількісне значення вихідної змінної.

Таблиця 4.4

Нечітка база знань для визначення технічного ризику енергопідприємств

№	Якщо					то	
	b_1	Θ	b_2	Θ	b_3	ω	α
	«рівень завантаження»	логічна зв'язка	«рівень дисципліни»	логічна зв'язка	«знос обладнання»	«експлуатаційні витрати»	вага правила
1	високий	ТА		ТА	високий	зростуть	1
2	високий	ТА	високий	ТА		на рівні базового року	1
3	в межах норми	ТА	високий	ТА		знижаться	1
4	в межах норми	ТА	в межах норми	ТА		на рівні базового року	1
5					низький	знижаться	1
6	низький					знижаться	1
7			низький			зростуть	1

Тому розглянемо спосіб оптимізації фінансових процесів, якщо:

- рівень завантаження устаткування 82 %, а 18 % потужності складають резерв;
- рівень дисципліни 97 %, оскільки у 3 % всіх випадків спостерігались порушення технічних умов експлуатації та посадових інструкцій основного виробничого персоналу;
- знос устаткування 62,2 %, що дорівнює середньому по галузі показнику за 2009 рік [37].

Етап № 2. Логічний висновок як етап алгоритму виконання нечіткого висновку має на меті встановлення відповідності між конкретним (зазвичай числовим) значенням окремої вхідної змінної системи нечіткого висновку та значенням функції приналежності відповідного їй терму вхідної лінгвістичної змінної.

Вхідна змінна "рівень завантаження":

- Значення функції належності терму «низький» для 82 % ($u=0,82$):

$$\mu_{\beta_1}(0,82) = 1 - 2 \cdot \left(\frac{b - u}{b - a} \right)^2 = 1 - 2 \cdot \left(\frac{0,82 - 0,795}{0,845 - 0,795} \right)^2 = 0,5,$$

$$\text{оскільки } 0,795 < 0,82 \leq \frac{0,795 + 0,845}{2}.$$

Аналогічно, згідно з табл. 4.2:

$$\mu_{\beta_1}(0,82) = 2 \cdot \left(\frac{u - a}{b - a} \right)^2 = 2 \cdot \left(\frac{0,845 - 0,82}{0,845 - 0,795} \right)^2 = 0,5,$$

$$\text{оскільки } \frac{0,795 + 0,845}{2} \leq 0,82 < 0,845.$$

Значення функції належності терму «в межах норми» для 82 % ($u = 0,82$) відповідно із параметрами (табл. 4.1):

$$\mu_{\beta_1}(0,82) = \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{u - m}{\sigma}\right)^2\right) = \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{0,82 - 0,85}{0,018}\right)^2\right) = 0,25.$$

Значення функції належності терму «високий» для 82 % ($u = 0,82$) відповідно із параметрами (табл. 4.3):

$$\mu_{\beta_1}(0,82) = 0, \text{ оскільки } 0,82 < 0,855.$$

Таким чином, із впевненістю 0 % можна стверджувати, що завантаження потужностей на 82 % високе, із упевненістю 25 % — що воно відповідає нормі та із упевненістю у 50 % — що воно низьке. Загальна сума мір упевненості не є 100 %, що й не вимагається.

Вхідна змінна "рівень дисципліни":

Значення функції належності терму «низький» для 97 % ($u = 0,97$) згідно з табл. 4.2:

$$\mu_{\beta_2}(0,97) = 0, \text{ оскільки } 0,945 < 0,97$$

Значення функції належності терму «в межах норми» для 97 % ($u = 0,97$) відповідно із параметрами (табл. 4.1):

$$\mu_{\beta_2}(0,97) = \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{u - m}{\sigma}\right)^2\right) = \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{0,97 - 0,95}{0,03}\right)^2\right) = 0,80$$

Значення функції належності терму «високий» для 97 % ($u = 0,97$) відповідно із параметрами (табл. 4.3):

$$\mu_{\beta_3}(0,97) = 2 \cdot \left(\frac{u - a}{b - a}\right)^2 = 2 \cdot \left(\frac{0,97 - 0,955}{0,995 - 0,955}\right)^2 = 0,28,$$

$$\text{оскільки } 0,955 < 0,97 \leq \frac{0,955 + 0,995}{2}$$

Таким чином, за 97 %-го дотримання всіх технічних умов та інструкцій використання обладнання енергокомпаній, із впевненістю 0 % можна стверджувати, що дисципліна низька, із впевненістю 80 % — що вона відповідає нормі та із упевненістю у 28 % — що вона висока. Загальна сума мір упевненості менше 100 %, що цілком можливо для систем нечіткого висновку та й для реального життя з його нестабільністю та непередбаченістю.

Вхідна змінна "рівень зносу":

Значення функції належності терму «низький» для 62,2 % ($u = 0,622$) згідно з табл. 4.2:

$$\mu_{\beta_3^1}(0,622) = 0, \text{ оскільки } 0,6 < 0,622$$

Значення функції належності терму «високий» для 62,2 % ($u = 0,622$) відповідно із параметрами (табл. 4.3):

$$\mu_{\beta_3^2}(0,622) = 1, \text{ оскільки } 0,6 < 0,622$$

Таким чином, якщо співвідношення фактичного та ефективного віку обладнання (4.19) становить 0,62 із 100 % впевненістю можна

стверджувати про високий рівень його зносу, істинність твердження щодо низького рівня зносу — нульова. Лише для третьої вхідної змінної загальна сума мір упевненості в точності дорівнює 100 %.

Визначення мір виконання передумов логічних правил виконується у відповідності із формулою (4.2). Оскільки в усіх правилах вжита логічна зв'язка ТА, використовується t-норма, що в алгоритмі Мамдані-Ларсена реалізується операцією мінімуму:

$$\mu_j^{\wedge}(a_i) = \min_{k=1}^K \mu_{\beta_i^k}(u_i). \quad (4.20)$$

Відповідно до умов, що розглядаються, істинність правил нечіткої бази знань становить

1. Для правила 1 міра впевненості щодо зростання експлуатаційних витрат:

$$\mu_1^{\wedge}(\omega_3) = \mu_{\beta_1^3} \wedge \mu_{\beta_2^3} = \min[0; 1] = 0. \quad (4.21)$$

2. Для правила 2 міра впевненості щодо незмінності експлуатаційних витрат:

$$\mu_2^{\wedge}(\omega_2) = \mu_{\beta_1^3} \wedge \mu_{\beta_2^3} = \min[0; 0,28] = 0. \quad (4.22)$$

3. Для правила 3 міра впевненості щодо економії експлуатаційних витрат:

$$\mu_3^{\wedge}(\omega_1) = \mu_{\beta_1^2} \wedge \mu_{\beta_2^3} = \min[0,25; 0,28] = 0,25. \quad (4.23)$$

4. Для правила 4 міра впевненості щодо незмінності експлуатаційних витрат:

$$\mu_4^{\wedge}(\omega_2) = \mu_{\beta_1^2} \wedge \mu_{\beta_2^2} = \min[0,25; 0,8] = 0,25. \quad (4.24)$$

5. Для правила 5 міра впевненості щодо економії експлуатаційних витрат відповідає мірі істинності єдиної передумови:

$$\mu_5^{\wedge}(\omega_1) = \mu_{\beta_3^1} = 0. \quad (4.25)$$

6. Для правила 6 міра впевненості щодо економії експлуатаційних витрат також відповідає мірі істинності єдиної передумови:

$$\mu_6^{\wedge}(\omega_1) = \mu_{\beta_1^1} = 0,5. \quad (4.26)$$

7. Для правила 7 міра впевненості щодо зростання експлуатаційних витрат відповідає мірі істинності єдиної передумови:

$$\mu_7^{\wedge}(\omega_3) = \mu_{\beta_2^1} = 0. \quad (4.27)$$

На підставі результатів розрахунків (4.21 — 4.27) у наступному підрозділі буде проаналізовано програмну реалізацію фаззі-алгоритму в середовищі MATLAB.

Оскільки в алгоритмі типу Мамдані-Ларсена імплікація здійснюється з використанням операції добутку, терми вихідної змінної перетворюються на *субнормальні* нечіткі множини, а нові функції належності ($\mu_{\omega_i}'(u)$) визначаються за формулами:

$$\mu_{\omega_i}'(u) = \mu_j(\hat{\omega}_i) \bullet \mu_{\omega_i}(u),$$

де c_i — міра істинності умов i -го правила, визначена на етапі № 4;
 $\mu_j(\hat{\omega}_i)$ — функція належності значення вихідної змінної i -му терму.
Для прикладу що розглядається, істинність термів вихідної змінної наступна.

У виведенні правила 3 (4.23) наявний терм "економія":

$$\mu_{\omega_3}'(u) = 0,25 \bullet 1 = 0,25.$$

У виведенні правила 4 (4.24) наявний терм «на рівні базового року», проте його висота (верхня межа істинності) дорівнює не 1, а тільки (рис. 4.5):

$$\mu_{\omega_4}'(u) = 0,25 \bullet 1 = 0,25.$$

У виведенні правила 6 (4.26) наявний терм «економія», проте його висота (верхня межа істинності) дорівнює не 1, а тільки (рис. 4.2):

$$\mu_{\omega_6}'(u) = 0,5 \bullet 1 = 0,5.$$

Висновки решти правил дорівнюють нулеві, як і висота відповідних термам вихідної змінної графіків.

Етап № 3. Композиція (або акумулювання, або агрегація)
виконується з метою об'єднання всіх мір істинності підвисновків для отримання функцій належності вихідної змінної. Необхідність виконання цього етапу полягає в тому, що висновки, які характеризують одній і тій же вихідній лінгвістичній змінній належать різним правилам системи нечіткого висновку. У використаному нами алгоритмі Ларсена агрегацію виконують як операцію максимуму, тобто об'єднання субнормальних нечітких множин термів вихідної змінної (рис. 4.5).

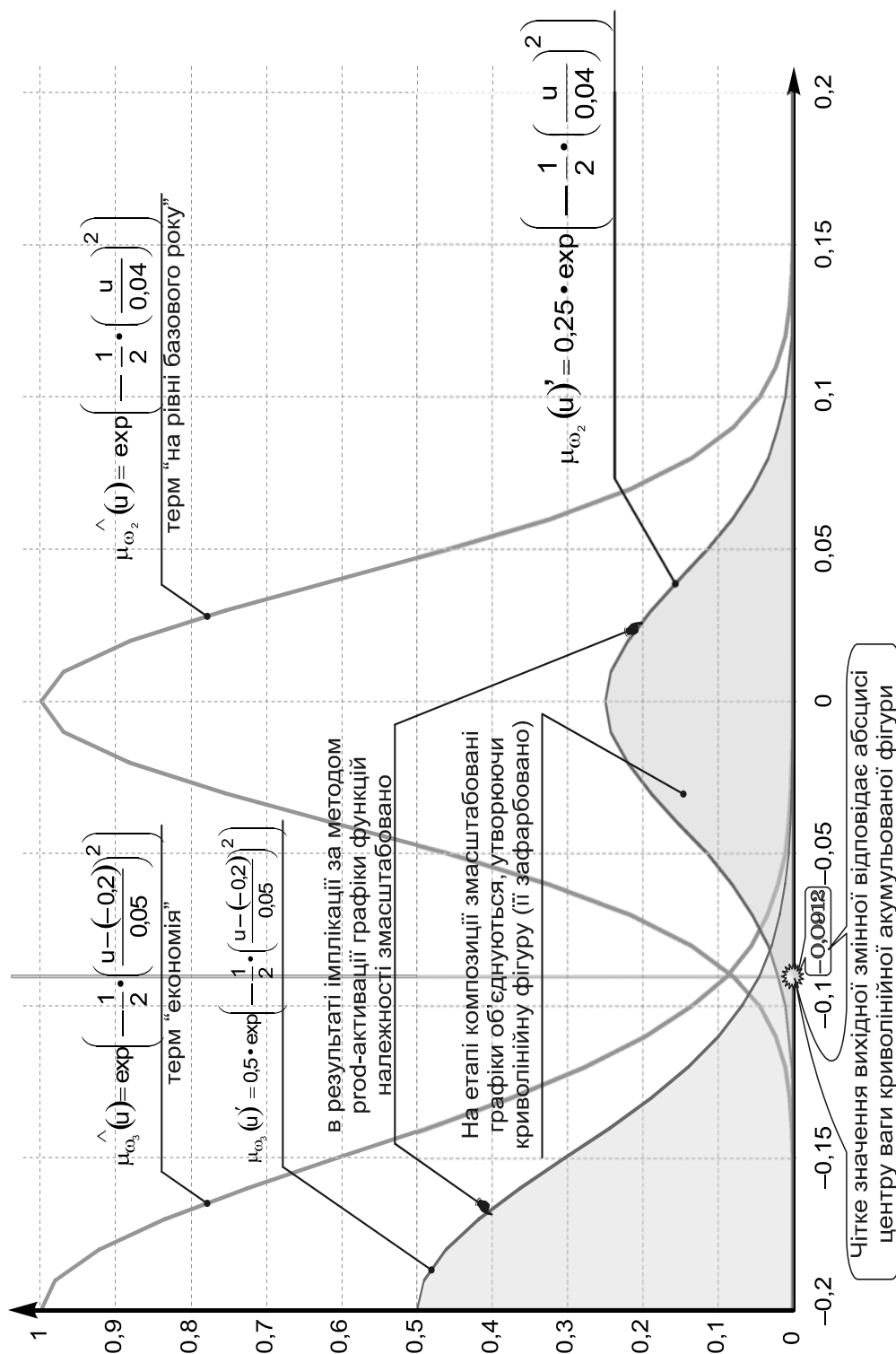


Рис. 4.5. Активація висновку для нечіткого алгоритму за методом прогн-активації

Етап № 4. Дефаззифікація виконується з метою отримання чіткого кількісного значення вихідної змінної на підставі акумуляції мір істинності висновків правил, присутніх у базі знань. Отримана на цьому останньому етапі величина технічного ризику призначена для подальшого використання власниками та менеджерами енергопідприємств під час тактичного планування та контролю за виконанням планів. Дефаззифіковане значення вихідної змінної — це показник $\Delta\%$, який слід підставити у формулу (4.17).

У побудованому нами алгоритмі за схемою Мамдані-Ларсена дефаззифікацію виконують за методом центру ваги, тобто чітке значення вихідної змінної відповідає абсцисі центру ваги площі криволінійної фігури, отриманої в результаті етапу агрегації. Формула центроїду площі [31, с. 71]:

$$y = \frac{\int_{\min}^{\max} u \cdot \mu(u) du}{\int_{\min}^{\max} \mu(u) du}, \quad (4.28)$$

де y — результат дефаззифікації,

u — змінна з універсальної множини (області значень) вихідної змінної,

$\mu(u)$ — функція належності, яка відповідає вихідній лінгвістичній змінній після етапу акумуляції;

\min і \max — ліва та права точки інтервалу носія нечітких множин термів вихідної змінної.

Чітке, дефаззифіковане значення додаткових витрат на ремонт та експлуатацію обладнання визначається за формулою (4.28), у якій в ролі підінтегральних функцій $\mu(u)$ було використано функції належності термів "економія" та "на рівні базового року", а в ролі меж інтегрування — межі універсуму (відповідно — 0,2 та 0,2, що відповідає 20 %-вій економії та перевитратам, порівняно з минулим роком), а також абсциса точки

перетину термів, отриманої на етапі акумуляції. Остання відображає таку зміну витрат, для якої з однаковою мірою впевненості можна стверджувати і про економію, і про незмінність витрат на утримання та експлуатацію обладнання. Тобто нижня межа інтегрування для незмінності витрат, що одночасно є верхньою межею для інтегрування терму щодо економії, визначається з рівності:

$$0,5 \cdot \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\bar{u} + 0,2}{0,05}\right)^2\right) = 0,25 \cdot \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{u}{0,04}\right)^2\right) \Rightarrow \bar{u} = \underline{u} = -0,0889,$$

Тоді за умов завантаження устаткування на 82 %, дисципліни персоналу на рівні 97 %, та зносу устаткування у 62,2 % очікувана зміна витрат на експлуатацію обладнання енергопідприємства становитиме (у %):

$$y = \frac{\int_{-0,2}^{-0,0889} u \cdot 0,5 \cdot \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{u+0,2}{0,05}\right)^2\right) + \int_{-0,0889}^{0,12} u \cdot 0,25 \cdot \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{u}{0,04}\right)^2\right)}{0,5 \cdot \int_{-0,2}^{-0,0889} \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{u+0,2}{0,05}\right)^2\right) + 0,25 \cdot \int_{-0,0889}^{0,12} \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{u}{0,04}\right)^2\right)} = \frac{-0,0050 - 0,00003}{0,0305 + 0,247} = -0,0912 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta\% = y \cdot 100\% = -0,0912 \cdot 100\% = -9,12\%$$

Розрахована величина дає відносну оцінку технічного ризику енергетичних підприємств, її наведено на графіку (рис. 4.5). Запропонований фаззі-алгоритм є дієвою альтернативою "імовірнісній" формулі (4.16).

Отже перераховані умови надають можливість для економії витрат на утримання та експлуатацію техніки в розмірі 9,12 %, порівняно з минулим роком, і саме такого результату має досягти енергопідприємство за умови ефективного ризик-менеджменту виробничих процесів. Подібні оцінки щодо рівня загрози технічного ризику і пов'язаних із ним додаткових витрат на утримання та експлуатацію обладнання можна було б отримати, застосувавши дещо інший алгоритм нечіткого висновку, відомий як алгоритм Сугено.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. За якою формулою обчислюють середньорічну виробничу потужність підприємств? Як за її допомогою визначити середньорічну виробничу потужність енергопідприємства, якщо відома наступна інформація: на 01.01. потужність міні-ГЕС становила 450 кВт, в червні буде здано в експлуатацію додатковий блок потужністю 150 кВт, а в жовтні у зв'язку з повним спрацюванням буде виведено з експлуатації блок потужністю 75 кВт. Організаційних нововведень на плановий рік не передбачається
2. Як визначити рівень завантаженості устаткування, якщо заплановано реалізувати споживачам 350 кВт·год енергії, а середньорічна потужність визначається умовами попереднього завдання?
3. Як визначається фізичний знос устаткування? Скільки становитиме його величина на сьогоднішній день, якщо обладнання виготовлено в 1989 році, а строк його економічного життя складає 30 років?
4. Запишіть у текстовій формі правила нечіткої бази знань №№ 2 — 4.
5. За допомогою прикладу фаззі-алгоритму, наведеного в підрозділі, Визначте рівень технічного ризику енерго-підприємства за умов завантаженості потужності та фізичного зносу, встановленого у завданнях 1,2.
6. Визначте, як зміниться та скільки становитиме рівень технічного ризику енергопідприємства, якщо рівень дисципліни на підприємстві знизився би на 5 процентних пункти і склав би 92 %:
 - а) для прикладу, розглянутого в підрозділі;
 - б) за умов використання результатів завдань 1,2.
7. Визначте, як зміниться та скільки становитиме рівень технічного ризику енергопідприємства, якщо у фаззі-алгоритмі видалити з бази знань правило №3:
 - а) для прикладу, розглянутого в підрозділі;
 - б) за умов використання результатів завдань 1,2;
 - в) за умов використання результатів завдань 1,2 та з урахуванням зниження дисципліни до 92 %.

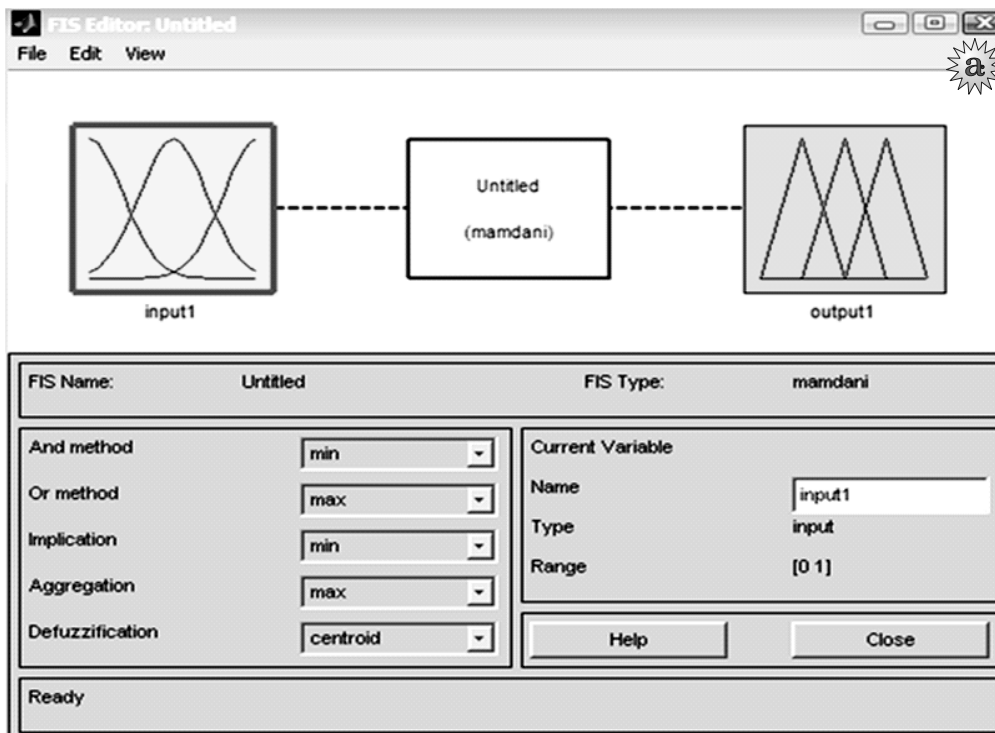
4.3 Програмна реалізація алгоритму нечіткого висновку Мамдані-Ларсена в середовищі MATLAB

Запропонований алгоритм виконує складні розрахунки за лічені секунди, якщо він реалізований в програмному середовищі. Наведемо реалізацію нечіткого алгоритму з використанням редактору системи нечіткого висновку **FIS (Fuzzy Inference System, або FIS-Editor, або FIS-редактор)** системи **MATLAB**. FIS-редактор запускається, якщо в командному рядку MATLAB надрукувати слово **fuzzy** та натиснути клавішу ENTER. Він має вигляд графічного вікна, яке наведено на рис. 4.6а. Додавання вхідних (чи вихідних) змінних до системи здійснюється вибором в меню **Edit** команди **Add variable... ⇒ Input** (чи **Output**), що наведено на рис. 4.6б.

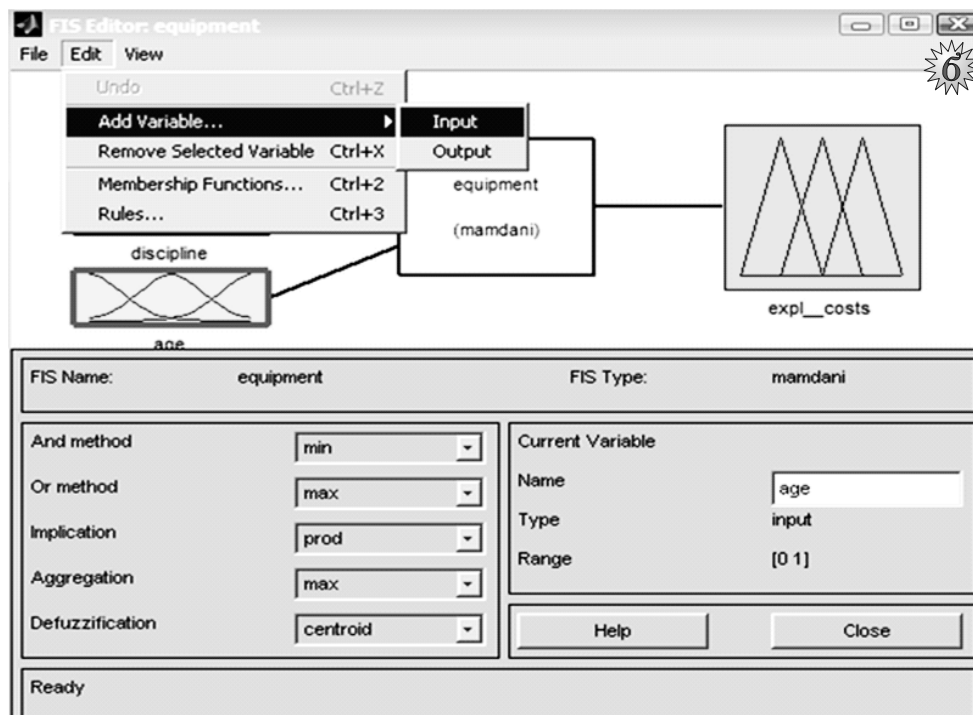
Оскільки у структурі фаззі-алгоритму (рис. 4.4) наявні 3 вхідні змінні, процедура його програмної реалізації розпочинається із додавання необхідної кількості змінних (рис. 4.6б).

Зверніть увагу, що додавати до нечіткої системи можна як вхідні (input), так і вихідні (output) змінні. На рис. 4.6б вхідні змінні мають англійські назви, що зумовлено особливостями введення символів в програмному середовищі MATLAB. Нагадаємо позначення змінних:

- β_1 — «рівень завантаженості устаткування», або "quantity" в програмному середовищі **FIS-Editor**,
- β_2 — «рівень виробничої дисципліни персоналу», або "discipline" в програмному середовищі **FIS-Editor**,
- β_3 — «рівень зносу устаткування, визначений за строком життя», або "age" в програмному середовищі **FIS-Editor**,
- ω_1 — «відсоток зростання експлуатаційних витрат», або "expl_costs" в програмному середовищі **FIS-Editor**.



а)



б)

Рис 4.6. Редактор фаззі-систем *FIS-Editor*:

а — загальний вигляд, б — додавання вхідних змінних

Відповідні поля діалогового вікна **FIS-Editory** призначені для вибору зі списків методів виконання логічних операцій ТА й АБО, операцій імплікації (*imp*) та агрегування (*agg*) над нечіткими множинами, а також процедури дефазифікації. На рис. 4.6б. вже виконано налаштування відповідно до фаззі-алгоритму Мамдані-Ларсена. у той час, як на рис. 4.6а. налаштування операцій над нечіткими множинами встановлені "за умовчанням" MATLAB. Крім того, безпосередньо з клавіатури змінюються імена вхідних та вихідних змінних у полі **Name**: на рис. 4.6б одна з вхідних змінних перейменована з Input3 на age.

Формування нечіткої бази знань передбачає визначення терм-множин вхідних та вихідних змінних за допомогою функцій належності та формування бази нечітких правил. На рис. 4.7 зображено графіки функцій належності вхідних та вихідної лінгвістичних змінних, автоматично побудовані в підсистемі нечіткого висновку **FIS** системи MATLAB під час проектуванням фаззі-аллгоритму.

У спроектованому алгоритмі вхідні лінгвістичні змінні β_1 та β_2 можуть набувати 3 значень: «низький» (= «low»), «задовільний» (= «about normal») та «високий» (= «hight»). Область визначення обох змінних (універсальну множину) встановлено в межах інтервалу [0,75..1]. Вхідна змінна β_3 , що характеризує знос обладнання може набувати тільки 2 значення: «низький» (= «low»), «в межах норми» (= «about normal») та «високий» (= «hight»). Область визначення (універсальну множину) цієї змінної встановлено в межах інтервалу [0..1]. Термами вихідної лінгвістичної змінної ω_1 обрано є трьохелементна множина $\omega_1 = \{\text{«зростання»}, \text{«відповідність базовому періоду»}, \text{«економія»}\}$.

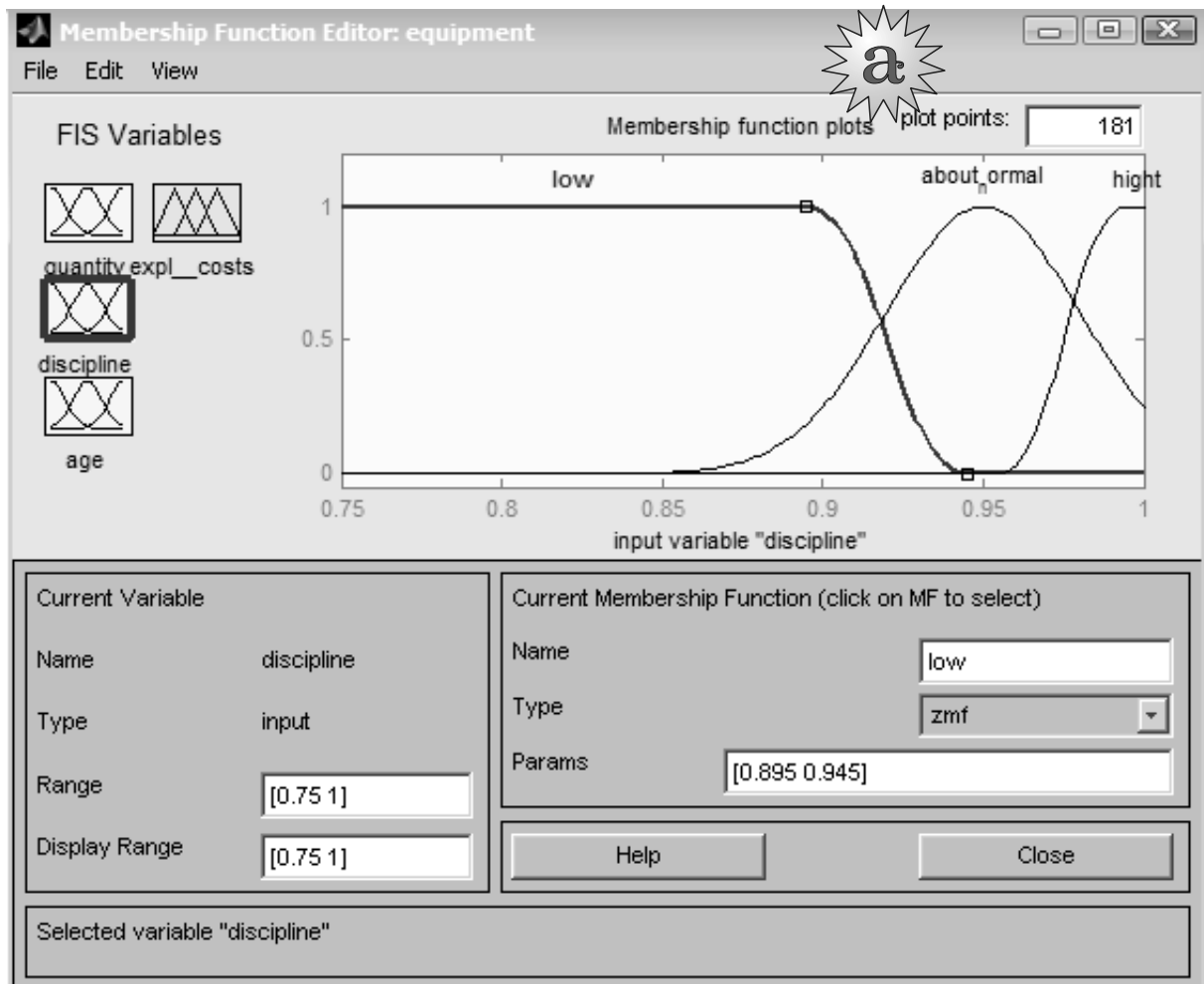


Рис. 4.7 (а — в). Результати опрацювання діалогового вікна редактору функцій належності ("Membership Function Editor")

а) вхідна змінна «рівень дисципліни», виділено терм "низький"

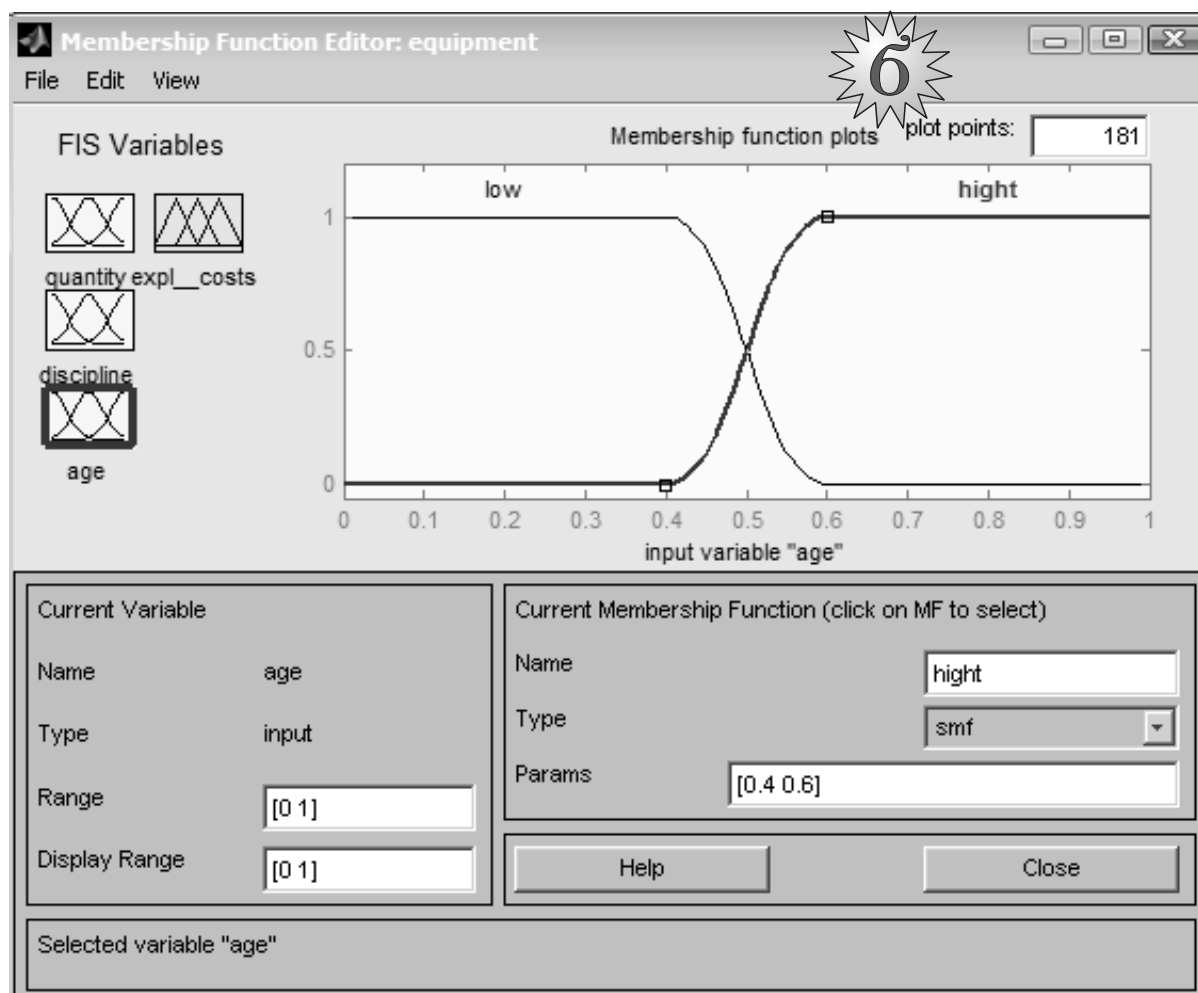


Рис. 4.7 (а — в). Результати опрацювання діалогового вікна редактору функцій належності ("Membership Function Editor")
б) вхідна змінна «рівень зносу обладнання», виділено терм "високий"

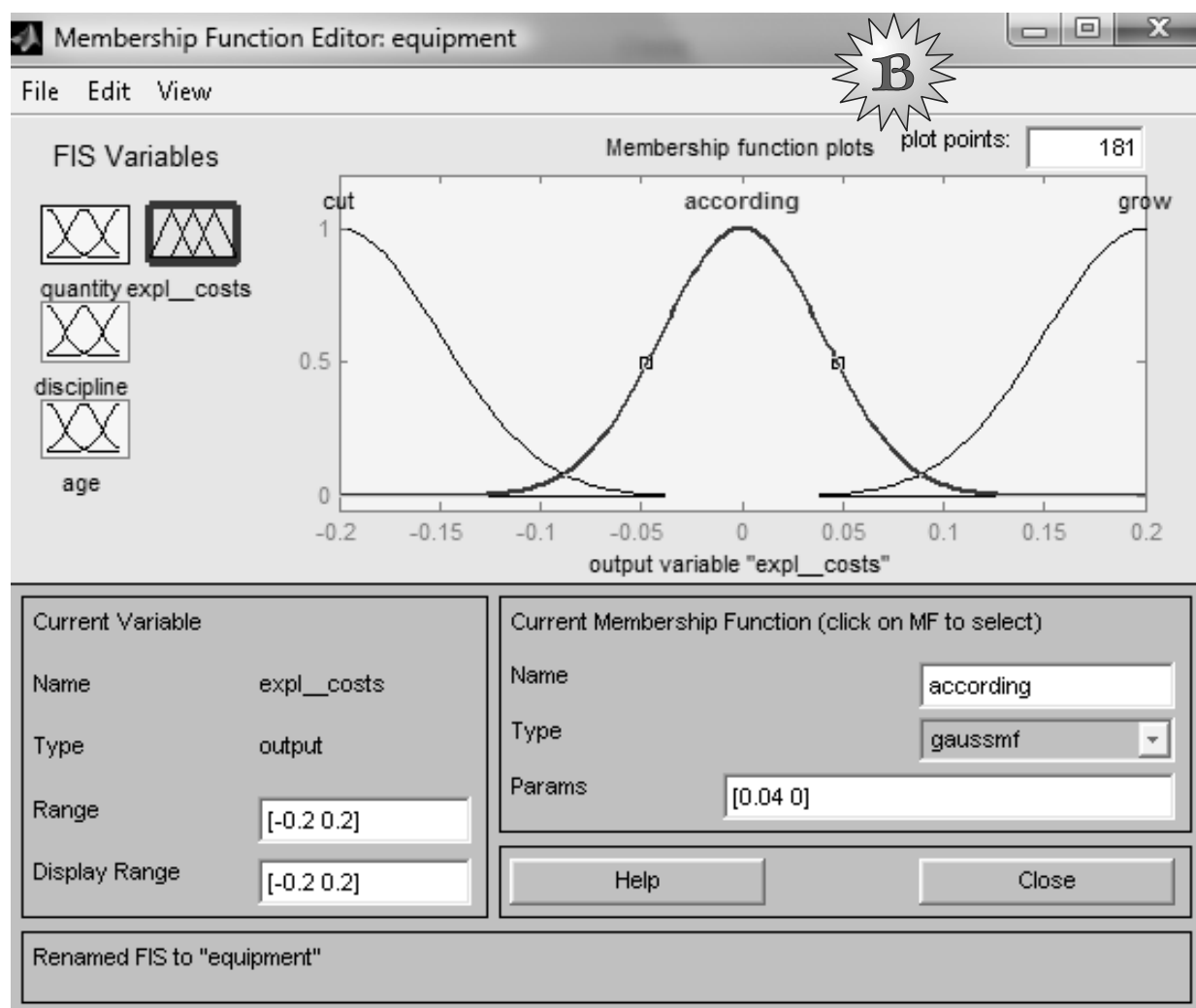


Рис. 4.7 (а — в). Результати опрацювання діалогового вікна редактору функцій належності (“Membership Function Editor”)

в) вихідна змінна «відсоток зростання експлуатаційних витрат», виділено терм "відповідність базовому періоду"

Універсальна множина цієї змінної — інтервал $[-0,2..0,2]$, для всіх термів вихідної змінної і для термів вхідних змінних, таких як «в межах норми», використано Гаусову функцію належності (4.10), яка в програмному середовищі FIS-Editory має назву **gaussmf**. Кількісні значення m та σ для відповідних термів наведено в табл. 4.1. Сплайн-функцію z-подібної кривої, задану системою (4.8), використано для термів "низький", які наявні у кожній з вхідних змінних. Параметри a, b

z-подібних функцій належності (**zmf**), відповідних термів вхідних лінгвістичних змінних зведено в табл. 4.2.

Сплайн-функція s-подібної кривої, задана системою (4.9), використана для терму "високий" всіх вхідних змінних. Параметри **a, b** s-подібних функцій належності (**smf**), відповідних термів вхідних лінгвістичних змінних зведено в табл. 4.3.

Щоб викликати **діалогове вікно редактору функцій приналежності ("Membership Function Editor")**, достатньо подвійного клацання миші на піктограмі будь-якої вхідної чи вихідної змінної початкового діалогового вікна **FIS-Editor**, наведеного на рис. 4.6.

Ліворуч розташовано піктограмні представлення вхідних та вихідних лінгвістичних змінних. Вибір відповідної піктограми шляхом клацання мишею на її зображенні надає змогу редагувати набір термів та їх функцій належності, додаючи нові, видаляючи зайві, змінюючи тип та параметри функцій, що відображається на графіку, розташованому праворуч. Горизонтальна вісь цього графіку (рис. 4.6) відображає заданий для нечіткої системи інтервал універсуму обраної лінгвістичної змінної.

Перед редагуванням функцій належності, **насамперед, потрібно задати діапазон універсуму** в полі **Range**, розташованого ліворуч рамки **Current Variable**, вводячи потрібні додатні чи від'ємні значення з клавіатури. Зміни діапазону універсуму після задавання типів та кількісних параметрів функцій належності можливе, проте не бажане — воно змінює всі попередньо задані налаштування так, щоб зберегти пропорції графіку. Це вимагає додаткових витрат часу на повторне введення великого масиву чисел і ускладнює процес проектування, налаштування та використання фаззі-системи. У найгіршому випадку редагування універсуму вже налаштованих функцій належності може призвести до "зависання програми", що взагалі зведе нанівець всю попередню роботу так, що доведеться заново задавати вхідні й вихідні змінні, повертаючись до попереднього діалогового вікна.

Подібно до додавання нової змінної, за допомогою меню **Edit обрати команду Add MFs....** При цьому програма відкриє діалогове вікно

(рис. 4.8), у якому слід обрати з випадаючих списків бажану кількість функцій належності та їх тип.

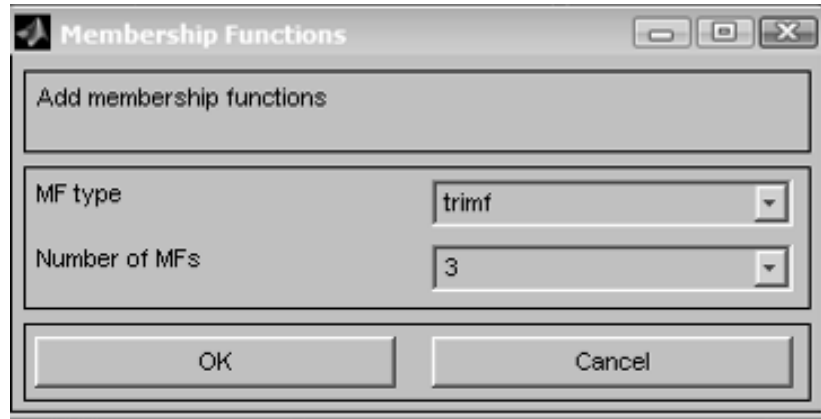


Рис. 4.8. **Діалогове вікно для додавання нових функцій належності нечітких терм-множин**

Редагування чи виділення функцій належності здійснюється після їх виділення — клацання миші на графіку певної функції призводить до виділення її червоним кольором. Натисканням клавіші **Delete** виділена функція видаляється. Перед редагуванням функції належності також слід задати її ім'я відповідно до змістовної характеристики певного лінгвістичного терму, набравши потрібну назву з клавіатури в полі **Name** розташованої праворуч рамки *Current Membership Function (click on MF to select)*.

Задати діапазон значень універсальної множини для кожної з вхідних та вихідних змінних можна і після задавання кількості та назв їх термів, але визначати тип та кількісні параметри функції належності доцільно вже після того, як у кожній змінній визначено діапазон універсумів.

Вибір типу для виділеної функції належності здійснюється шляхом виділення потрібної позиції з випадаючого списку **Type**, а параметри функції задаються з клавіатури у полі **Params**. Для функцій типу **smf** та **zmf** перше число — параметр **a**, друге — параметр **b**. Для функції Гауссового типу **gaussmf** перше число — параметр σ , друге — параметр **m**. Всі зміни

параметрів програма моментально ілюструє змінами конфігурації графіків редагованих функцій належності, що покращує візуальний контроль правильності налаштувань проектованого фаззі-алгоритму.

Поля **Name**, **Params**, та список **Type** об'єднано рамкою **Current Membership Function (click on MF to select)**.

У FIS-Editori введення правил нечітких продукцій здійснюється при допомозі діалогого вікна **Rule-editor**, яке викликається з будь-якого попереднього вікна FIS-Editory, або за допомогою команд меню: **Edit** ⇒ **Rules...**, або шляхом натискання на клавіатурі комбінації клавіш **Ctrl+3**.

Відповідно до інформації, наявної в діалоговому вікні **Rule Editor** (рис. 4.9), згідно табл. 4.4, правила у базі знань сформульовано наступним чином:

1. ЯКЩО «рівень завантаження = високий» ТА «знос обладнання = високий», ТО «експлуатаційні витрати = зростуть».
2. ЯКЩО «рівень завантаження = високий» ТА «рівень дисципліни = високий», ТО «експлуатаційні витрати = на рівні базового року».
3. ЯКЩО «рівень завантаження = в межах норми» ТА «рівень дисципліни = високий», ТО «експлуатаційні витрати = знизяться».
4. ЯКЩО «рівень завантаження = в межах норми» ТА «рівень дисципліни = в межах норми», ТО «експлуатаційні витрати = на рівні базового року».
5. ЯКЩО «знос обладнання = низький», ТО «експлуатаційні витрати = знизяться».
6. ЯКЩО «рівень завантаження = низький», ТО «експлуатаційні витрати = знизяться».
7. ЯКЩО «рівень дисципліни = низький», ТО «експлуатаційні витрати = зростуть».

Побудована система нечіткого висновку може бути збережена в результаті вибору команд меню: **File** ⇒ **Export** ⇒ **To disk** (або натискання комбінації клавіш **Ctrl+S**) із подальшим вибором місця зберігання файла. Як і для будь-якої системи нечіткого висновку, створеної в середовищі MATLAB, програма додає розширення *.fis.

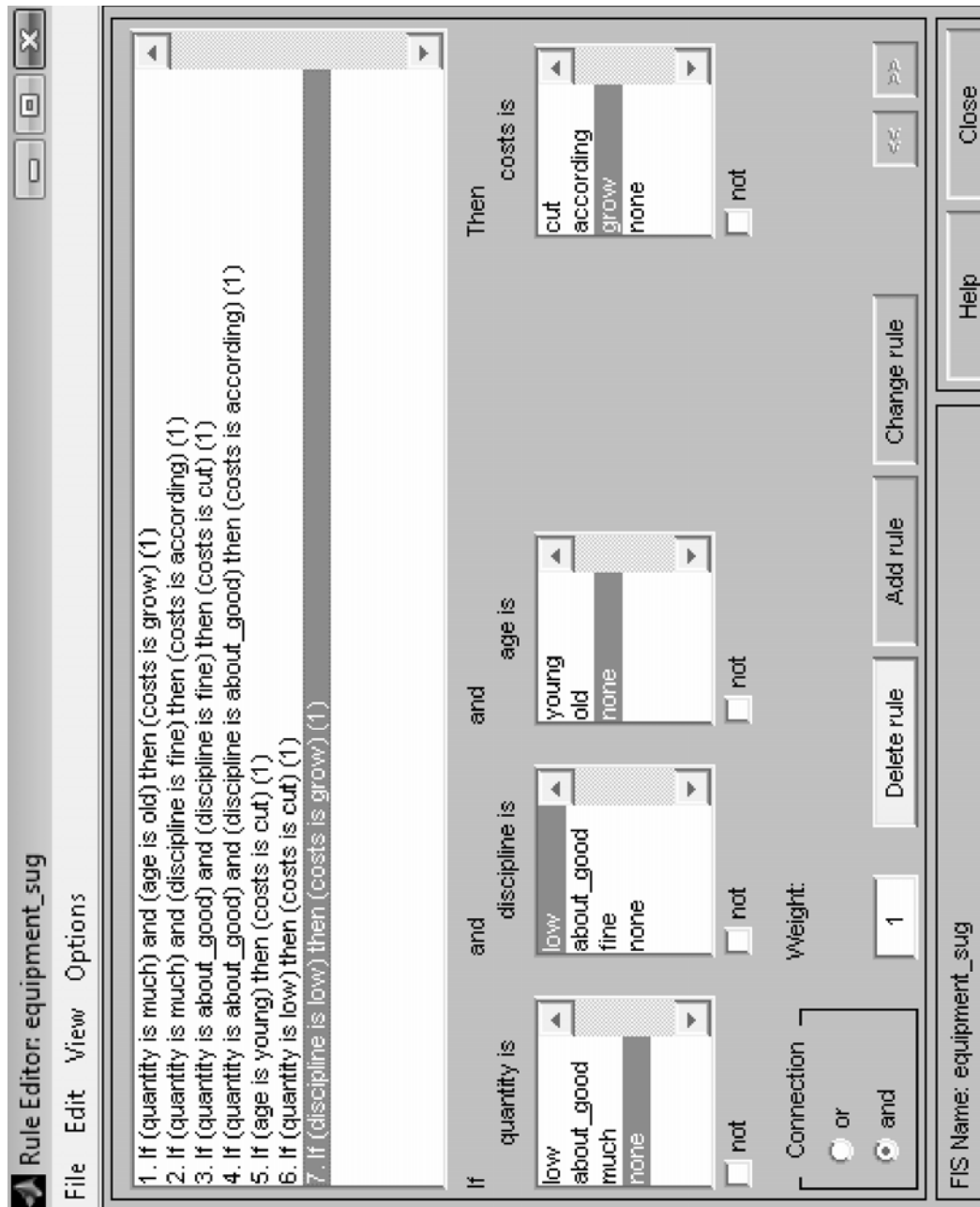


Рис. 4.9. Правила системи нечіткого висновку стосовно оцінювання технічного ризику енергопідприємств, внесені до діалогового вікна редактору правил ("Rule Editor")

Щоб завантажити у вже існуючий в комп'ютері файл нечіткої системи слід виконати команди: **File** \Rightarrow **Import** \Rightarrow **From disk**, у результаті чого відкривається діалогове вікно **Read FIS**, подібне до стандартних вікон для відкриття файлів, у якому обирається потрібна папка та файл.

У програмному середовищі MATLAB розрахунки здійснюються миттєво, а їх графічна ілюстрація разом із вводом вхідних чітких значень та чіткого виходу фаззі-алгоритму виконується у вікні **Rule Viewer** (рис. 4.10). Воно викликається з будь-якого попереднього вікна FIS-Editor, або за допомогою команд меню: **View** \Rightarrow **Rules...**, або шляхом натискання на клавіатурі комбінації клавіш **Ctrl+5**.

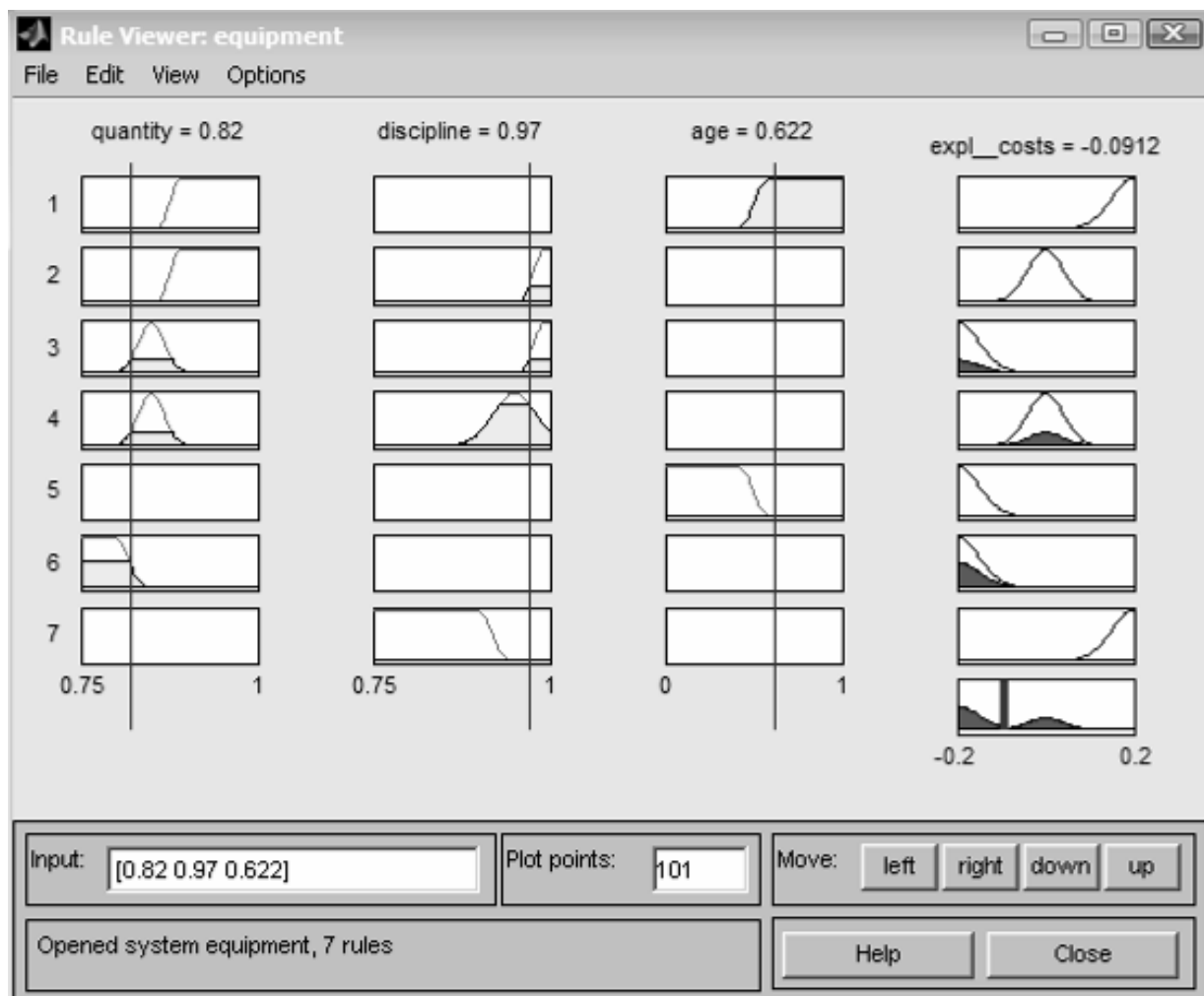


Рис. 4.10. Процес нечіткого висновку в FIS-Editor

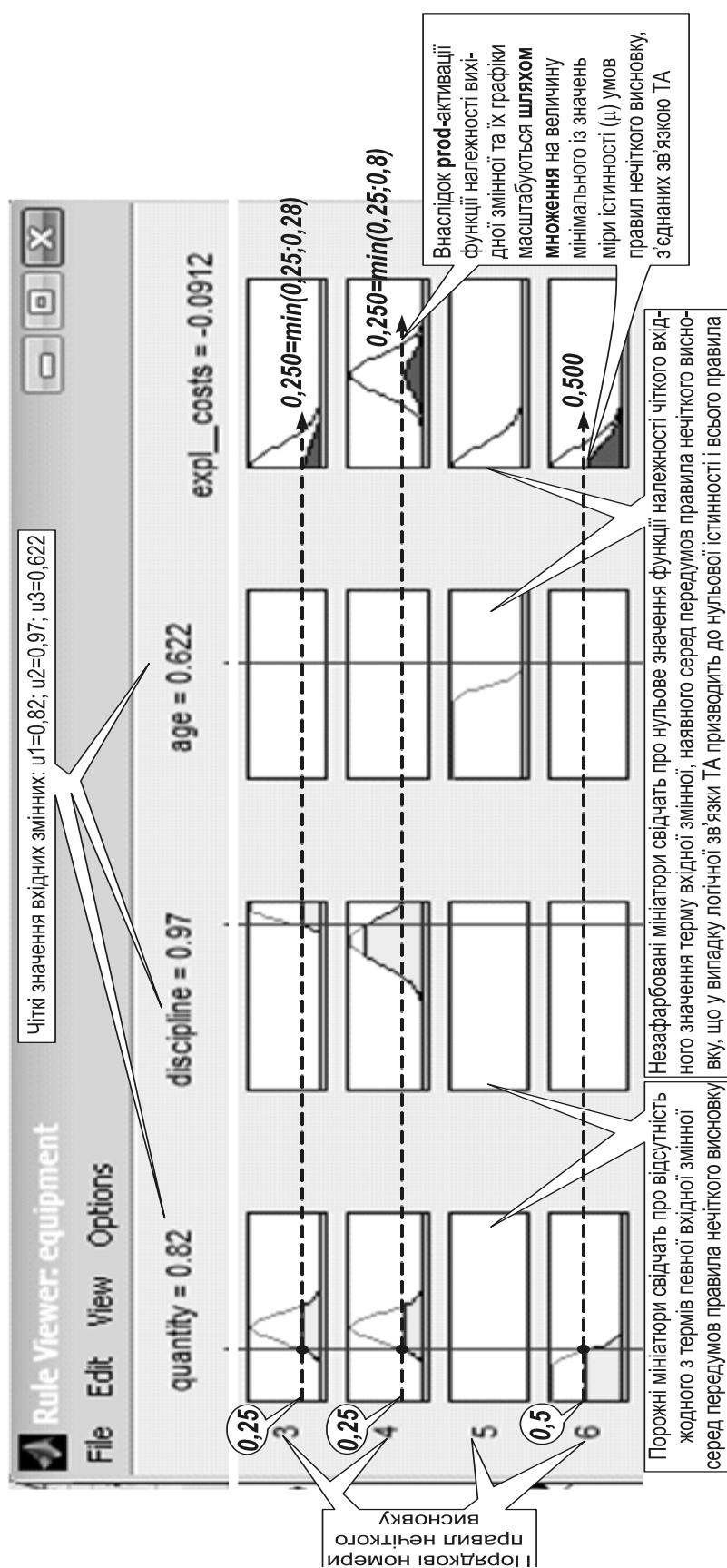


Рис. 4.11. Агрегація нечітких правил системи нечіткого висновку стосовно ризику зростання витрат на утримання та експлуатацію обладнання енергопідприємств

Піктограми графіків функцій належності для першої вхідної та вихідної змінних правила 1 (перший рядок, утворений 4-ма графічними піктограмами та позначений цифрою "1") на рис. 4.10 не зафарбовані, адже посилання правила № 1 щодо високого рівня завантаженості має нульову міру істинності (4.21), що в силу t-норми, реалізованої операцією мінімуму призводить до нульової істинності висновку цього правила стосовно зростання експлуатаційних витрат.

Відповідні піктограми графіків функцій належності вихідної змінної та першої вхідної правила 2 (другий рядок, утворений 4-ма графічними піктограмами та позначений цифрою "2") на рис. 4.10 також не зафарбовані — згідно (4.22).

Відповідні правилу 3 піктограми графіків функцій належності вхідних та вихідної змінної зафарбовано відповідно жовтим та синім кольорами, які на рис. 4.10 світло- та темно-сірі. Також з рис. 4.10 видно, що для вхідних змінних зафарбовування відповідає альфа-зрізу на рівні значень функцій належності (згідно (4.23) він становить 0,25), а для вихідної змінної зафарбована частина є змасштабованою, порівняно із конфігурацією заданих функцій належності.

Це пояснюється способом імплікації, застосованим в алгоритмі типу Мамдані–Ларсена. Для правила 4 відповідні правилу піктограми графіків функцій належності також зафарбовано, а графік другого терму вихідної функції, подібно до попереднього правила, змасштабовано з коефіцієнтом 2,8 відповідно до (4.24). Відповідні правилу 5 піктограми графіків не зафарбовано, адже в результаті (4.25) отримано нуль. На піктограмах графіків, що відповідають правилам 5 та 7 зафарбування відсутнє — це свідчить про нульове значення функцій належності термів вхідних змінних, включених до цих правил. Відсутність термів певної вхідної змінної у передумовах правила нечітких продукції на графіках піктограмах позначається відсутністю графіків термів у вигляді тонких кривих ліній (тобто у вигляді порожніх систем координат). Відповідні правилу 6 піктограми графіків зафарбовані, подібно до піктограм правил №№ 3, 4, причому альфа-зріз функції належності входу 0,5 — відповідно до (4.26).

Масштабування графіків-пiктограм вихiдних змiнних вiдповiдно до мiр iстинностi правил №№ 3, 4, 6 виконувалось тому, що в алгоритмi типу Мамданi-Ларсена iмплiкацiя здiйснюється з використанням операцiї добутку.

Визначення мiр виконання передумов логiчних правил виконується у вiдповiдностi з формулою (4.2). Оскiльки в усiх правилах вжита логiчна зв'язка ТА, використовується t -норма, що в алгоритмi Мамданi-Ларсена реалiзується операцiєю мiнiмуму (рис. 4.11).

Внаслiдок процедури *prod*-активiзацiї графіки термiв вихiдної змiнної масштабуються по осi ординат, оскiльки висота вiдповiдних нечiтких субнормальних множин не перевищуватиме мiри iстинностi умов правил, наявних у базі знань. За вищезазначених умов роботи енергопiдприємства *prod*-активiзацiї пiдлягатимуть тiльки терми вихiдної змiнної, присутні у 3, 4 та 6 правилах, що зображено на рис. 4.11. Результати *prod*-активiзацiї зображені темним кольором на пiктограмах графіків функцiй належностi термiв вихiдної змiнної.

Графічно результат агрегацiї розробленої системи для оцiнювання рiвня технiчного ризику енергопiдприємств показано на рис. 4.12. Заштриховану темним кольором область отримано об'єднанням графіків функцiй мiри iстинностi вихiдних термiв «на рiвнi базового року» та «економiя».

Абсциса центру ваги площі криволiнійної фігури, заштрихованої темним кольором на рис. 4.12 і обмеженої графіком акумульованої функцiї належностi, визначається за формулою (4.28). Саме ця величина автоматично розрахована редактором FIS і позначена на графіку-пiктограмі на рис. 4.12, а також на рис. 4.10 та 4.11.

Перевагою розробленого в середовищі FIS-Editory MATLAB фаззи-алгоритму є не лише прозорість процедур, але й гнучкiсть налаштувань, а саме:

- можливість змiн нечiткої бази знань у випадку iнших експертних оцiнок;

– оперативність перерахунку чітких значень вихідної змінної у відповідності із корегуваннями, внесеними до фаззі-системи.

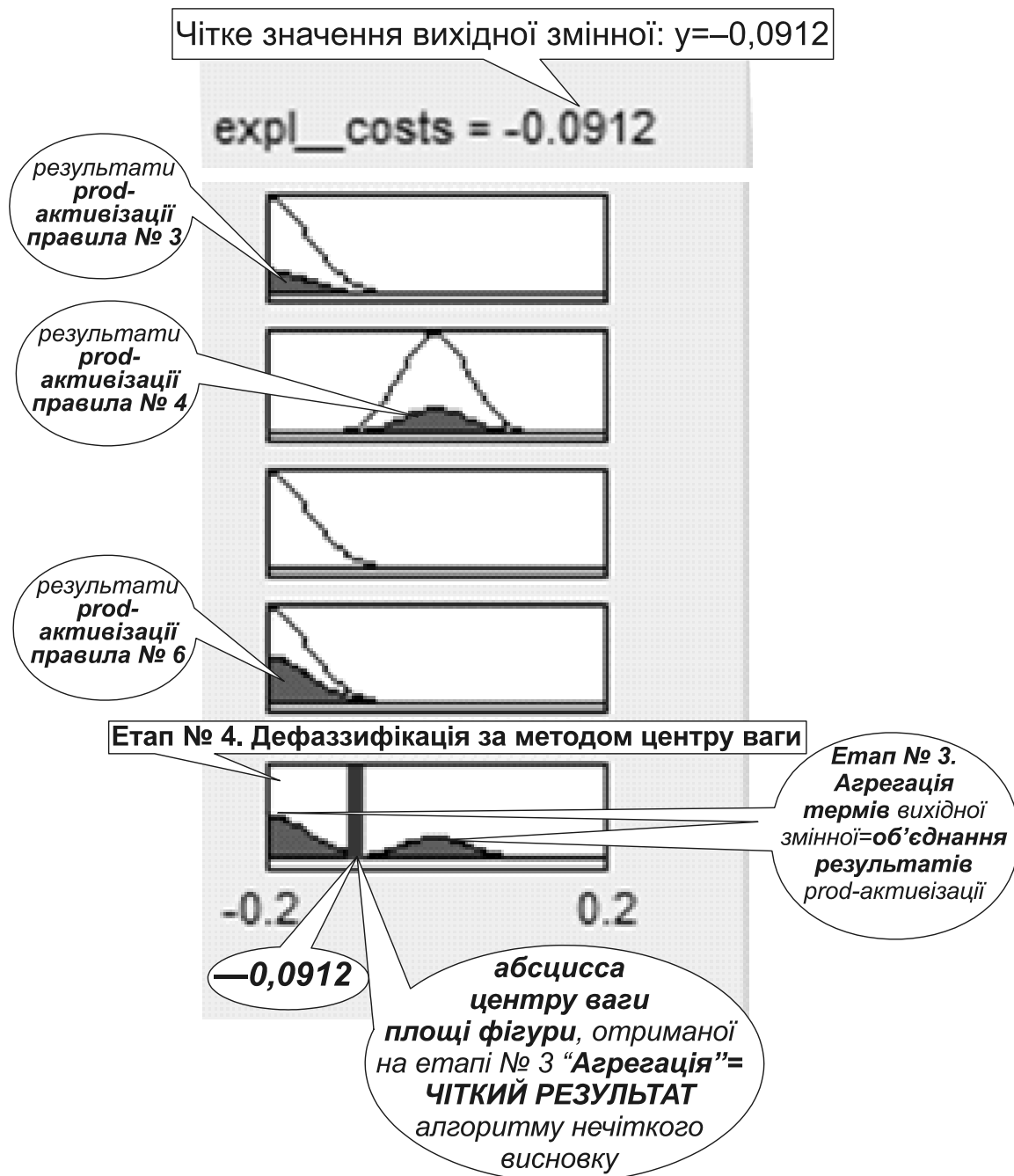


Рис. 4.12. Агрегація та дефазифікація системи нечіткого висновку стосовно загрози технічного ризику та зростання витрат на експлуатацію та утримання обладнання

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Як запускається редактор системи нечіткого висновку (FIS-Editor)? Як завантажити до нього вже існуючу в комп'ютері систему нечіткого висновку?
2. При допомозі яких дій можна збільшити кількість вхідних змінних у структурі нечіткого висновку. Яким чином змінюються назви вхідних та вихідних змінних.
3. Яку послідовність дій слід виконати, щоб змінити кількість та тип функцій належності? У який спосіб задаються діапазон універсальної множини та параметри гаусової функції належності?
4. Як сформувати базу правил у FIS-Editori? Як задається вага правила? Видаляється правило?
5. Визначте за допомогою FIS-Editori, якою буде величина технічного ризику енергопідприємства, якщо рівень дисципліни, знос обладнання та його завантаження становитимуть по 88 %. Як зміниться рівень технічного ризику, якщо у запропонованому фаззі-алгоритмі правила 3,5,6 матимуть вагу 0,75?
6. Які дії слід виконати у FIS-Editori, щоб модифікувати нечіткий алгоритм типу Мамдані–Ларсена до алгоритму типу Мамдані (зміни стосуються насамперед методу імплікації)? Скільки % становитиме технічний ризик за умов 88 %-вих значень всіх входів та імплікації за методом мінімуму.
7. За допомогою довідкової системи MATLAB з'ясуйте, як задаються дзвоноподібні (bell-shaped) функції належності, про які йшлося в главі 4.1. (формули). У запропонованій системі замініть Z- та S-подібні функції належності дзвоноподібними із схожими параметрами та визначте, як в результаті цього змінюватиметься вихідна змінна.

4.4 Алгоритм Сугено як інструмент ризик-менеджменту енергопідприємств

Алгоритм нечіткого висновку Сугено подібний до алгоритму Мамдані за характером обчислювальних операцій та нечіткій базі знань. Головна відмінність цього алгоритму нечіткого висновку від алгоритму Мамдані полягає у використанні функціональних залежностей у правилах нечіткої бази знань. Можливо застосування 2-х типів правил нечітких продукцій: у першому вихідна змінна визначається як лінійна комбінація значень вхідних змінних, у другому — як константа. У першому випадку типова форма правила наступна [49, с. 78]:

$$\text{Якщо " } \beta_1 \text{ це } \alpha' \text{ та } \beta_2 \text{ це } \alpha''\text{", то " } \omega = \varepsilon_1 \cdot u_1 + \varepsilon_2 \cdot u_2 \text{"} \quad (4.29)$$

де u_1, u_2 — кількісні значення лінгвістичних змінних β_1 та β_2 ;

ε_1 та ε_2 — вагові коефіцієнти лінійних рівнянь

У другому, **спрощеному** випадку правило має наступний вигляд:

$$\text{Якщо " } \beta_1 \text{ це } \alpha' \text{ та } \beta_2 \text{ це } \alpha''\text{", то " } \omega = \gamma_1 \text{"} \quad (4.30)$$

де γ_1 — деяке значення-константа вихідної змінної.

Решта ж етапів алгоритму Сугено подібна до алгоритму Мамдані, оскільки передбачає застосування лінійних або нелінійних функцій належності, імплікації з використанням операції мінімуму або добутку та центроїдний метод дефазифікації.

Результуюче значення виходу знаходять як суперпозицію лінійних законів чи констант шляхом обчислення зваженого середнього:

$$y = \frac{\sum_{j=1}^m \mu_{Y_j} \cdot Y_j}{\sum_{j=1}^m \mu_{Y_j}} \quad (4.31)$$

де Y_j — чітке значення вихідної змінної у відповідності із j -м правилом;

μ_{Y_j} — міра істинності j -го правила;

m — кількість правил нечіткої бази знань.

Основні етапи алгоритму нечіткого висновку типу Сугено та спрощеного алгоритму нечіткого висновку наведено на рис. 4.13.

Програмна реалізація алгоритму Сугено значно спрощується, якщо засобами Fuzzy Logic Toolbox Matlab вже розроблено алгоритм типу Мамдані (на підставі якої реалізовано алгоритм Ларсена), адже можна скористатись вбудованою функцією ***mam2sug***.

Ця функція перетворює системи нечіткого висновку, незалежно від кількості вихідних змінних. Отримувана в результаті цього система нечіткого висновку типу Сугено зберігає базу знань базової системи. Зберігається і кількість термів вихідної змінної, визначена у базовій системі, однак тип цих функцій належності змінюється — вони тепер визначаються як константи, значення яких розраховується програмою автоматично за методом центроїду для відповідних функцій існуючої системи нечіткого висновку.

Зберігається і кількість термів вихідної змінної, визначена у базовій системі, однак тип цих функцій належності змінюється — вони тепер визначаються як константи, значення яких розраховується програмою автоматично за методом центроїду для відповідних функцій існуючої системи нечіткого висновку. Нижче наведено фрагмент лістингу програми MATLAB зі створення алгоритму нечіткого висновку Сугено на підставі існуючого алгоритму Ларсена:

```
>> mam_fismat=readfis('equipment');
```

```
>> sug_process=mam2sug(mam_fismat)
```

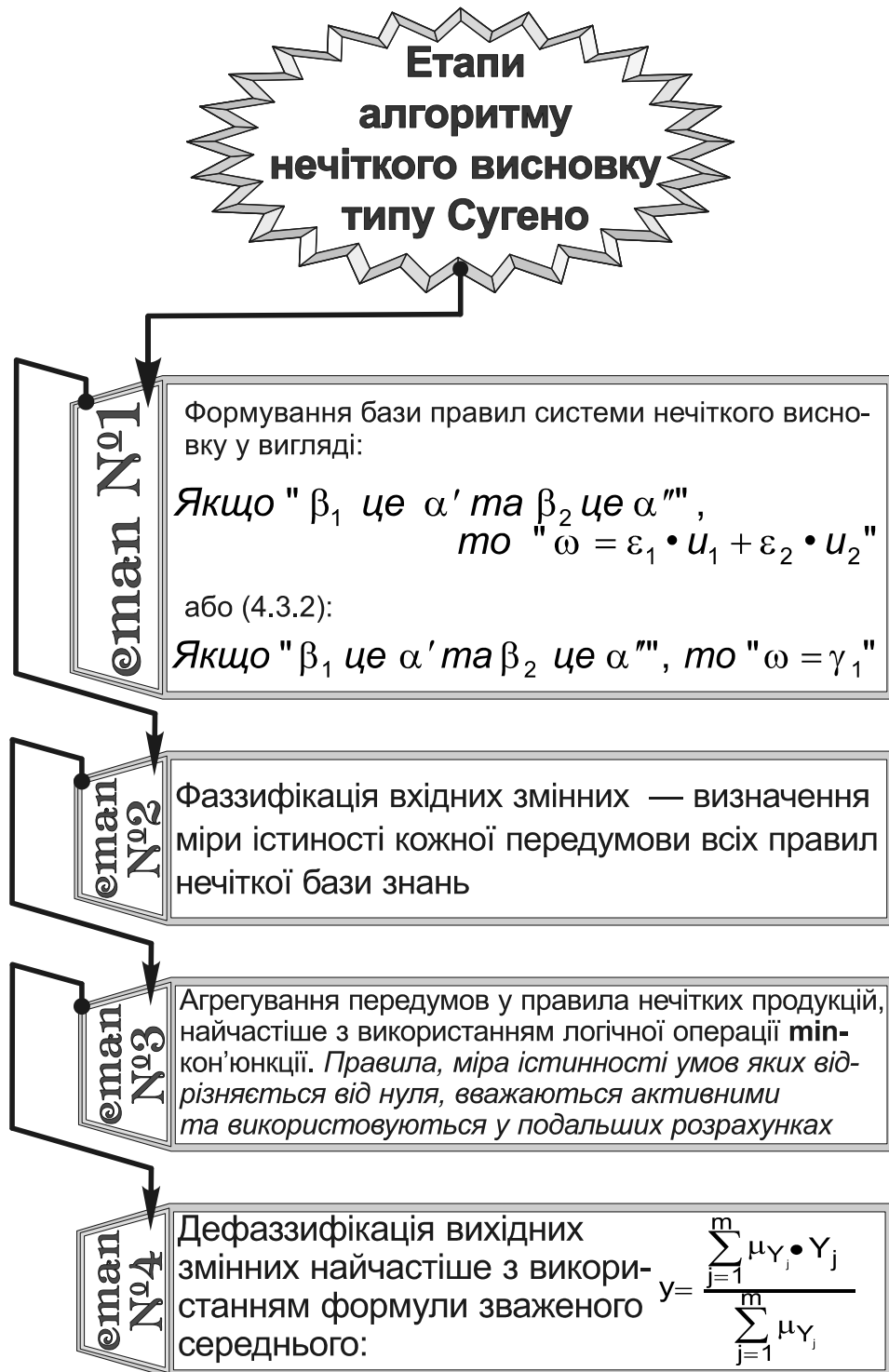


Рис. 4.13. Етапи виконання нечіткого логічного висновку типу Сугено

Базовий файл, який реалізує вищеподану систему нечіткого висновку, має назву ***equipment.fis***. (Ця назва наведена в заголовку діалогового вікна на рис. 4.7 а — в, 4.9 — 4.11). Відповідно із вимогами формування команд у програмному середовищі MATLAB її вміщено в одинарних лапках і дужках після найменування функції ***mam2sug***. Нова структура типу Сугено в програмному середовищі MATLAB набуває позначення — тобто «ім'я» ***sug_process***, яке вводиться перед знаком рівності та функцією перетворення (***mam2sug***).

Новостворений алгоритм можна імпортувати з робочої області до FIS-EDitory за допомогою команди Import → From Workspace меню File (рис. 4.14), тоді процес отримання результативних значень вихідних змінних можна спостерігати у відповідному робочому вікні, представленою на рис. 4.15. Однак можливе отримання значень вихідної змінної і виключно у вікні команд. З цією метою слід використати команду ***evalfis***.

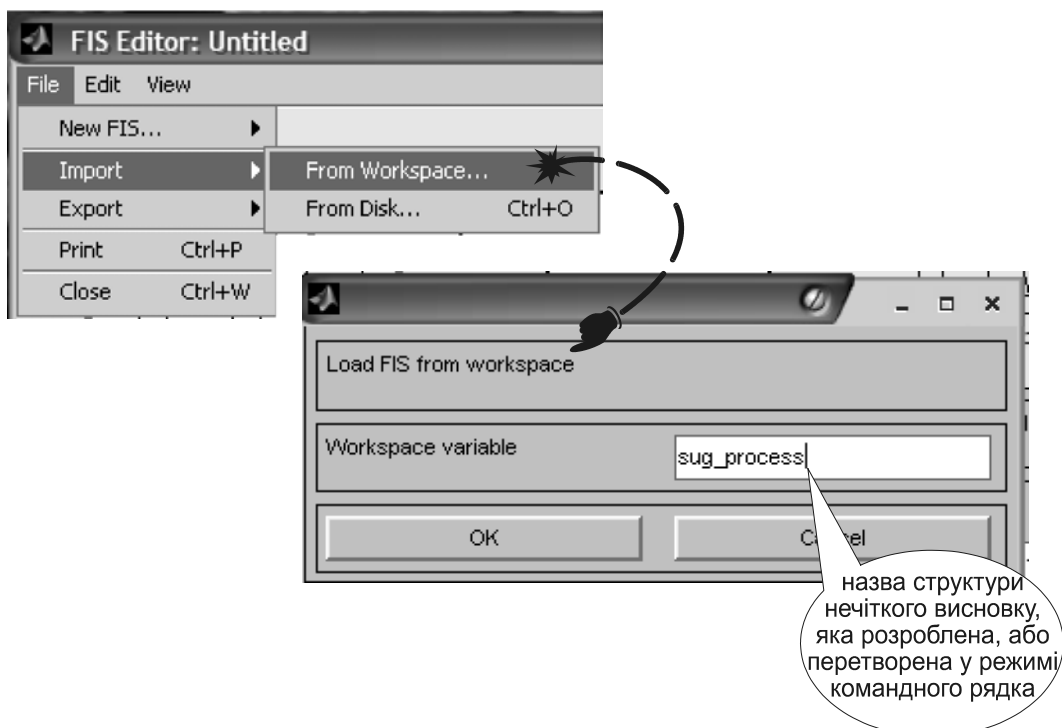


Рис. 4.14. Введення перетвореної на тип Сугено структури нечіткого висновку з робочої області MATLAB до діалогових вікон редактору FIS

Приклад використання команди ***evalfis*** для оцінювання технічного ризику енергопідприємств в умовах 82 % завантаження обладнання, 97 % дисципліни персоналу й 62,2 % зносу основних засобів та результат розрахунку наведено нижче.

```
>> evalfis([0.82, 0.97, 0.622], sug_process)
```

```
ans = -0.0911
```

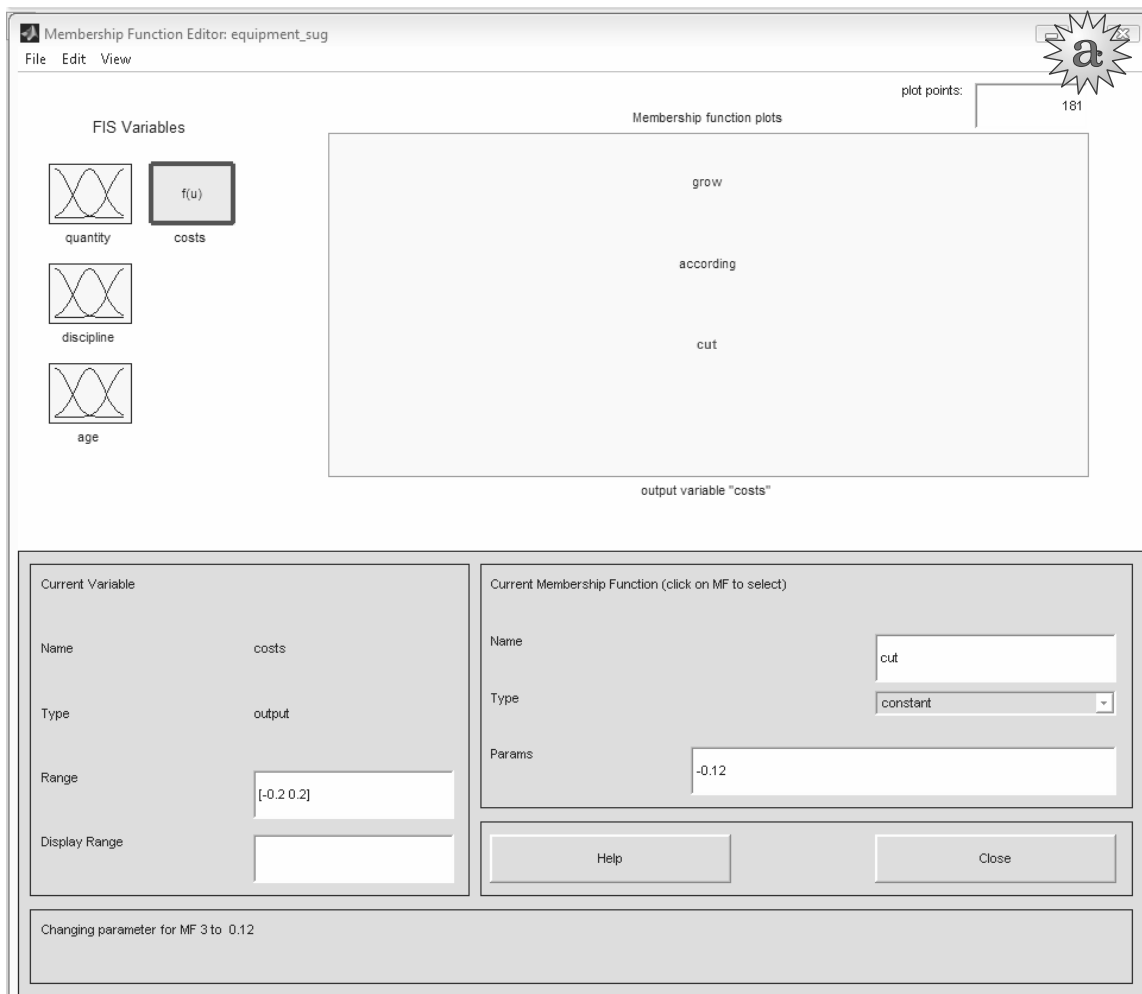


Рис. 4.15а. Програмна реалізація фаззі-алгоритму типу Сугено за допомогою FIS-Editor:

- а) — корегування параметрів функції належності термів вихідної змінної в діалоговому вікні “Membership Function Editor” (Поле Params містить показник —0,12 для виділеного терму "економія", названого в програмному середовищі "cut", про що свідчить вміст поля Name)

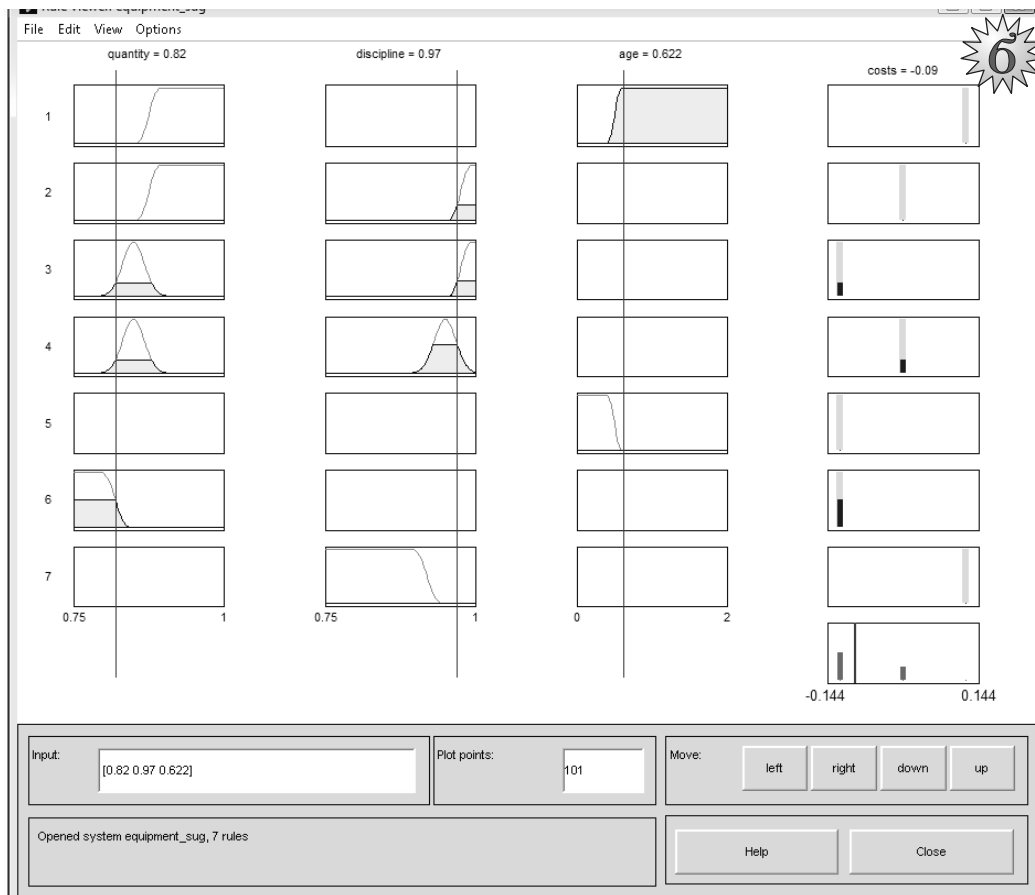


Рис. 4.15б Програмна реалізація фаззі-алгоритму типу Сугено за допомогою FIS-Editor:

- б) — загальний вигляд процесу логічного висновку у вікні “FIS RuleViewer”:
для тих же чітких значень входів, що й у системі Мамдані-Ларсена,
результат дефаззифікації майже не відрізняється: економія у 9 %

Після команди **evalfis** у круглих дужках вводяться значення вхідних змінних у тому порядку, як вони включені до системи нечіткого висновку. Цей набір коефіцієнтів, який для запропонованої системи нараховує 3 вхідних змінних, в свою чергу, береться в квадратні дужки, а окремі спостереження відділяються комою. Після квадратних дужок через кому вводиться назва відповідної змінної, якою позначено новостворену структуру типу Сугено. У такий спосіб можна обчислювати значення і за допомогою базової структури, при цьому круглих дужках має бути зазначена відповідна назва. Отже, якщо назву фаззі-алгоритму введено

в одинарних лапках (‘), програма шукатиме відповідний файл серед файлів типу *.fis у поточній директорії MATLAB, шлях до якої задається на панелі інструментів системи (віконце Current Directory). Якщо ж одинарні лапки відсутні, програма шукає структуру нечіткого висновку серед змінних робочої області.

Розрахунки чіткого значення вихідного значення технічного ризику у лістингу програми в режимі командного рядку MATLAB та в середовищі FIS –editor (рис. 4.15.6) здійснено за формулою (4.31) у такий спосіб:

$$y = \frac{0,5 \cdot (-0,12) + 0,25 \cdot (-0,12) + 0,25 \cdot 0}{0,5 + 0,25 + 0,25} = -0,09 ,$$

де 0,25; 0,25; 0,5 — відповідно міри істинності правил 3, 4, 6, обчислені раніше;

0, -0,12 — константи, що відповідають експертним оцінкам кількісної величини загрози технічного ризику чи її відсутності.

При цьому перевитрати (економія) експертами визначено в розмірі 12 % зміни минулорічної суми коштів на утримання та ремонт устаткування в той чи іншій бік. Вибір величини $\pm 12\%$ в якості констант-виходів можна обґрунтувати таким розрахунком, що дасть відповідь на питання: "які зміни витрат на експлуатацію основних засобів дозволять стверджувати про їх сталість із впевненістю на рівні лише 1 %?" Інакше кажучи, слід знайти такі значення з універсуму вихідної змінної, за яких функція належності терм-множині "на рівні базового року" набуде значення **0,01**. З цією метою потрібно розв'язати рівняння:

$$\exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\gamma}{0,04}\right)^2\right) = 0,01 \Rightarrow \gamma_{1,2} = \pm 0,12 \quad (4.32)$$

Зважаючи на прозорість обчислювальних процедур нечітких алгоритмів та можливість реалізації алгоритму типу Сугено виключно за рахунок операцій елементарної математики, стає можливим реалізувати інтелектуальну систему ризик-менеджменту засобами MS Excel. Така реалізація дозволяє використовувати фаззі-систему

широким колом користувачів, оскільки не вимагає спеціального програмного забезпечення та додаткового навчання персоналу.

На рис. 4.16 наведено можливий варіант інтелектуальної системи оцінювання технічного ризику енергопідприємств у програмному середовищі MS Excel. Користувачеві необхідно лише ввести значення експертних оцінок трьох вхідних змінних у виділені кольором клітинки **B2:D2**. Програма автоматично обчислює зміну експлуатаційних витрат у % згідно з формулою (4.31), видаючи результат у позначеній кольором клітинці **H1**. Складові цієї формули (4.31) — чисельник і знаменник, а також загальний результат додатково обчислюються в клітинках **N23**, **M24** та **N25**, що також виділена кольором та містить той же результат, що й **H1**.

Формули у зазначених клітинках звичайно ґрунтуються на результатах обчислення істинності правил нечіткої бази знань (μ_{Y_j}) у діапазоні **M16:M22**, їх зведено в табл. 4.5.

Таблиця 4.5

Формули для розрахунку дефазифікованої величини надбавки до витрат на утримання і експлуатацію обладнання за технічний ризик у середовищі MS Excel (клітинки H1, N23, M24, N25)

Адреса клітинки	Формули у клітинках табличного процесору
H1	=СУММПРОИЗВ(L16:L22;M16:M22)/СУММ(M16:M22)
N23	=СУММ(N16:N22)
M24	=СУММ(M16:M22)
N25	=N23/M24

Значення термів умов та висновків нечітких правил та мір їх істинності у блоці клітинок **A14:N22** задаються шляхом посилання на відповідні значення з таблиці функцій належності вхідних змінних (блок **A5:H12**) та констант-функцій належності вихідної змінної (блок **I4:J6**). Міра істинності кожного з правил (μ_{Y_j}) у діапазоні **M16:M22** визначається за *t*-нормою, тобто за мінімальним значенням істинності передумов правила. Формули блоку **A14:N22** "Нечіткі правила" зведено в табл. 4.6.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
1	Чіткі вхідні значення	рівень завантаження	рівень дисципліни	рівень зносу	Чітке значення вихідної змінної	експлуатаційні витрати	-9,0%	ΣY _i •μ _{Yi} /Σμ _{Yi}	Константи-функції належності вихідної змінної	Y _i					
2		0,82	0,97	0,62											
3	Функції належності вхідних змінних														
4	Змінна	Терм	Тип	Параметри				μ _x	економія	-12%					
5				низький	Z-подібна	a= 0,795	b= 0,85				0,500	на рівні базового року	0		
6	рівень завантаження	в межах норми	гаусова	m= 0,85	σ= 0,02	0,249	зростуть	12%							
7		високий	S-подібна	a= 0,855	b= 0,9	0,000									
8	рівень дисципліни	низький	Z-подібна	a= 0,895	b= 0,95	0,000									
9		в межах норми	гаусова	m= 0,95	σ= 0,02	0,539									
10		високий	S-подібна	a= 0,955	b= 1	0,281									
11		низький	Z-подібна	a= 0,4	b= 0,6	0,000									
12	рівень зносу	високий	S-подібна	a= 0,4	b= 0,6	1,000									
13															
Нечіткі правила															
14	Якщо	рівень завантаження		ТА	рівень дисципліни		ТА	рівень зносу		, то	експлуатаційні витрати	Y _i	μ _{Yi}	Y _i •μ _{Yi}	
15		терм	μ _x		терм	μ _x		терм	μ _x						зростуть
16	Правило № 1	високий	0,000					високий		1,000		зростуть	12%	0,000	0,0%
17	Правило № 2	високий	0,000		високий	0,281			—			на рівні базового року	0%	0,000	0,0%
18	Правило № 3	в межах норми	0,249		високий	0,281			—			економія	-12%	0,249	-3,0%
19	Правило № 4	в межах норми	0,249		в межах норми	0,539			—			на рівні базового року	0	0,249	0,0%
20	Правило № 5	—			—			низький	0,000			економія	-12%	0,000	0,0%
21	Правило № 6	низький	0,500		—				—			економія	-12%	0,500	-6,0%
22	Правило № 7	—			низький	0,000			—			зростуть	12%	0,000	0,0%
23											ΣY _i •μ _{Yi}				-9,0%
24											/Σμ _{Yi}		0,999		
25											ΣY _i •μ _{Yi} /Σμ _{Yi}				-9,0%

Рис. 4.16. Реалізація алгоритму нечіткого висновку для визначення надбавки до витрат на утримання і експлуатацію обладнання за технічний ризик засобами MS Excel (за умови застосування алгоритму типу Сугено із константними значеннями термів вихідної змінної)

Блок "Функції належності вхідних змінних" містить параметри функцій належності, що подавались в табл. 4.5 — 4.7. Обчислення значень функцій належності термів вхідних змінних (μ_x) згідно типів функцій належності (4.8) — (4.10) виконано у блоці клітинок **H5:N12**. Оскільки формули для обчислення z- та s-подібних функцій належності (4.8) — (4.9) відрізняються залежно від кількісного значення аргументу — чіткого вхідного значення, у середовищі **MS Excel** використано складні комбіновані формули що передбачають кількаразове вживання логічної функції "ЕСЛИ". Формули блоку **A5:H12** "Функції належності вхідних змінних" зведено в табл. 4.7.

Таблиця 4.6

Формули блоку "Нечіткі правила" для розрахунку надбавки до витрат на утримання і експлуатацію обладнання за технічний ризик у середовищі MS Excel (клітинки A14:N22)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
14	Якщо	=A5		ТА	=A8		ТА	=A11		то експлуатаційні витрати	Y _i	m _{Y_i}	Y _i •m _{Y_i}	
15		терм	m _x		терм	m _x		терм	m _x					
16	Правило № 1	=B7	=H7					=B12	=H12		=I6	=J6	=МИН(C16;I16)	=L16*M16
17	Правило № 2	=B7	=H7		=B10	=H10		—			=I5	=J5	=МИН(C17;F17)	=L17*M17
18	Правило № 3	=B6	=H6		=B10	=H10		—			=I4	=J4	=МИН(C18;F18)	=L18*M18
19	Правило № 4	=B9	=H6		=B9	=H9		—			=I5	=J5	=МИН(C19;F19)	=L19*M19
20	Правило № 5	—			—			=B11	=H11		=I4	=J4	=I20	=L20*M20
21	Правило № 6	=B5	=H5		—			—			=I4	=J4	=C21	=L21*M21
22	Правило № 7	—			=B8	=H8		—			=I6	=J6	=F22	=L22*M22

Таблиця 4.7

**Формули блоку "Функції належності вхідних змінних"
для розрахунку надбавки до витрат на утримання і експлуатацію
обладнання за технічний ризик у середовищі MS Excel
(клітинки A5:H12)**

	A	B	C	D	E	F	G	H
4	Змі- нна	Терм	Тип	Параметри				μ_x
5	=B1	низький	z-по- дібна	a=	0,79 5	b=	0,845	=ЕСЛИ(B2<=E5;1;ЕСЛИ(B2<=(E5+G5)/2;1-2*((B2-E5)/(G5-E5))^2;ЕСЛИ(B2<G5;2*((G5-B2)/(G5-E5))^2;0)))
6		в межах норми	гаусо- ва	m=	0,85	b=	0,018	=EXP(-0,5*((B2-E6)/G6)^2)
7		високий	s-по- діб- на	a=	0,85 5	b=	0,895	=ЕСЛИ(B2<=E7;0;ЕСЛИ(B2<=(E7+G7)/2;2*((B2-E7)/(G7-E7))^2;ЕСЛИ(B2<G7;1-2*((G7-B2)/(G7-E7))^2;1)))
8	=C1	низький	z-по- дібна	a=	0,89 5	b=	0,945	=ЕСЛИ(C2<=E8;1;ЕСЛИ(C2<=(E8+G8)/2;1-2*((C2-E8)/(G8-E8))^2;ЕСЛИ(C2<G8;2*((G8-C2)/(G8-E8))^2;0)))
9		в межах норми	гаусо- ва	m=	0,95	b=	0,018	=EXP(-0,5*((C2-E9)/G9)^2)
10		високий	s-по- дібна	a=	0,95 5	b=	0,995	=ЕСЛИ(C2<=E10;0;ЕСЛИ(C2<=(E10+G10)/2;2*((C2-E10)/(G10-E10))^2;ЕСЛИ(C2<G10;1-2*((G10-C2)/(G10-E10))^2;1)))
11	=D1	низький	z-по- дібна	a=	0,4	b=	0,6	=ЕСЛИ(D2<=E11;1;ЕСЛИ(D2<=(E11+G11)/2;1-2*((D2-E11)/(G11-E11))^2;ЕСЛИ(D2<G11;2*((G11-D2)/(G11-E11))^2;0)))
12		високий	s-по- дібна	a=	0,4	b=	0,6	=ЕСЛИ(D2<=E11;0;ЕСЛИ(D2<=(E11+G11)/2;2*((D2-E11)/(G11-E11))^2;ЕСЛИ(D2<G11;1-2*((G11-D2)/(G11-E11))^2;1)))

Як свідчить рис. 4.16, результати обчислень у середовищі **MS Excel** на всіх етапах фаззи-алгоритму збігаються із розрахунками мір істинності термів вхідних змінних, правил нечітких продукцій та дефаззифікованого значення вихідної змінної.

Константи-функції вихідної змінної, як і параметри функцій належності можуть бути зміненими в результаті інших експертних оцінок безпосередньо в середовищі **MS Excel**.

Варто відзначити, що алгоритм типу Сугено надає більш оптимістичну оцінку ризиків, порівняно із алгоритмом Мамдані-Ларсена, тому вимагає більш виважених налаштувань параметрів вихідної змінної. Так, якби структура типу Сугено, отримана в результаті використання функції **mam2sug** не була б змінена, то значення термів-констант вихідної змінної складали б $\pm 16\%$ (а не $\pm 12\%$ відповідно для перевитрат та економії, як було розраховано за формулою (4.32)). При цьому очікуваний розмір економії був би іншим — 12% , а не 9% , як і за алгоритмом Мамдані-Ларсена.

Отже фаззи-алгоритми типу Сугено простіші у використанні, можуть реалізовуватись у середовищі **MS Excel**, не вимагаючи складнішого програмного забезпечення, однак вимагають ретельного опрацювання експертних оцінок з наданням переваги песимістичним поглядам.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Які типи правил нечітких продукцій застосовуються в алгоритмі типу Сугено. В чому принципова відмінність алгоритму нечіткого висновку Сугено від алгоритму Мамдані Які типи правил нечітких продукцій застосовуються в алгоритмі типу Сугено?
2. Яким чином можна перетворити на алгоритм Сугено вже створений засобами Fuzzy Logic Toolbox Matlab алгоритм типу Мамдані? Що в результаті цього зміниться у вже існуючому алгоритмі.

3. Як можна отримати результати нечіткого алгоритму у режимі "командного рядку? Які дії слід виконати FIS-Editory перед введенням команд у командному вікні MATLAB.
4. Визначте рівень технічного ризику енергопідприємства, якщо і фізичний знос обладнання, і його завантаження, і рівень дисципліни персоналу складають по 88 %:
 - а) "вручну", тобто без використання комп'ютерної техніки;
 - б) з використанням FIS-Editory;
 - в) в режимі командного рядку;
 - г) засобами MS Excel
5. Визначте за допомогою алгоритму типу Сугено, як зміниться та скільки становитиме рівень технічного ризику енергопідприємства, якщо у фаззі-алгоритмі видалити з бази знань правило № 3:
 - а) для прикладу, розглянутого в підрозділі. Порівняйте результат із алгоритмом Мамдані-Ларсена, коли в ньому було видалено аналогічне правило;
 - б) за умов значень всіх входів на рівні 88 %.
6. Визначте за допомогою алгоритму Сугено, як зміниться та скільки становитиме рівень технічного ризику енергопідприємства, якщо на 1 процентний пункт зросте одна з входних змінних (тобто 89 %) при незмінності інших. Який з входів найсильніше впливає на зміну виходу?
7. Як зміниться алгоритм нечіткого висновку типу Сугено, якщо буде вилучено терм "в межах норми" для обох входних змінних? Скільки при цьому становитиме технічний ризик:
 - а) для прикладу, розглянутого в підрозділі. Порівняйте результат із алгоритмом Мамдані-Ларсена, коли його буде модифіковано аналогічним чином;
 - б) за умов значень всіх входів на рівні 88 %.

4.5 Оцінювання фінансових ризиків енергопідприємств за допомогою гібридної нейро-нечіткої мережі

Поєднання нейромереж із алгоритмами нечіткого висновку у гібридні мережі рекомендуємо використовувати як допоміжний прийом дейтамайнінгу для ризик-менеджменту. По-перше, подібна система буде деякою мірою позбавлена прозорості, по-друге, у випадку використання кількості входів і виходів більше трьох візуальний контроль та оцінка моделі буде надто складною, по-третє, досвід розробки нейромереж для розв'язання проблем прогнозування фінансового стану не надає підстав рекомендувати їх розповсюдження у практиці ризик-менеджменту та економічного прогнозування як беззаперечно надійний та ефективний засіб [35].

Однак для великого масиву вхідних даних-спостережень гібридні нейро-нечіткі моделі дозволяють отримати прийнятні результати короткострокових прогнозів, значно кращі, порівняно з моделями авторегресії [31]. Тому детальніше зупинимось на результатах використання **ANFIS**-моделей (Adaptive-Network-based Fuzzy Inference System) під час проектування систем нечіткого висновку. Адаптивні системи нечіткого висновку являють собою систему типу Сугено, в якій кожне правило нечітких продукцій **має постійну вагу, рівну одиниці**. Проте, досвід удосконалення процедури проектування систем нечіткого висновку свідчить, що саме за рахунок корегування вагових коефіцієнтів правил, присутніх у базі знань, досягається витончене налаштування алгоритму.

Отже, гібридні мережі вимагають додаткових налаштувань вагових коефіцієнтів правил, отриманих в результаті багатоітераційного навчання мережі. Архітектура **ANFIS**-моделі, представлена на рис. 4.17 [30; 38], являє собою п'ятишарову нейронну мережу прямого розповсюдження сигналу. При цьому першому шару (із подвійним точковим контуром та символічним зображенням гаусові кривої) відповідають терми вхідних змінних, які найчастіше задаються Гаусовими, чи трикутними.

Кількість нейронів першого шару визначається сумарною кількістю термів вхідних змінних у системі нечіткого висновку, причому самі вхідні змінні, присутні у структурі у вигляді нейронів розташованих у крайньому лівому «стовпчику» в окремий шар не виділяються — це входи системи. Кожен вхід з'єднаний із такою кількістю нейронів першого шару, скільки терм-множин визначено для відповідної вхідної мережі. З виходів першого шару інформаційні сигнали відповідно із лініями-зв'язками надходять до другого, який містить передумови нечітких правил.

Звичайно один і той же терм вхідної змінної може бути використаним у кількох правилах, тому кількість виходів кожного нейрону першого шару відповідає кількості посилань на нього у правилах нечіткого логічного висновку. Якщо структура нейромережі побудована за допомогою генератору **ANFIS**-систем середовища MATLAB, колір нейронів другого шару відповідає типу логічної зв'язки, використаної при побудові правила. Виходом кожного нейронного вузла є міра виконання правила, що обчислюється як добуток міри істинності всіх присутніх у правилі передумов, тому на схемі (рис. 4.17) нейрони другого шару мають позначення «П» — символу добутку аргументів.

Нейрони третього шару акумулюють інформацію про міру істинності висновків кожного з правил. Кількість нейронів другого та третього шарів збігається і дорівнює кількості правил у базі знань. Єдиний нейрон четвертого шару — це суматор, який виконує агрегацію виходів всіх правил, присутніх у базі знань, саме тому його позначено символом « Σ ». Нарешті п'ятий шар, також позначений темним кольором, є виходом мережі. Він теж містить єдиний нейрон, який видає чітке значення вихідної змінної. У спеціалізованій науковій літературі, зокрема [36] обґрунтовано принципи побудови та функціонування значно складніших нейро-нечітких моделей, порівняно із варіантом структури, яку генерує підсистема MATLAB **ANFIS**-editor. **Побудова гібридних нейро-нечітких моделей** здійснюється у результаті розрахунку таких параметрів функції належності, які б щонайкраще відображали кількісні та структурні характеристики існуючої вибірки даних.

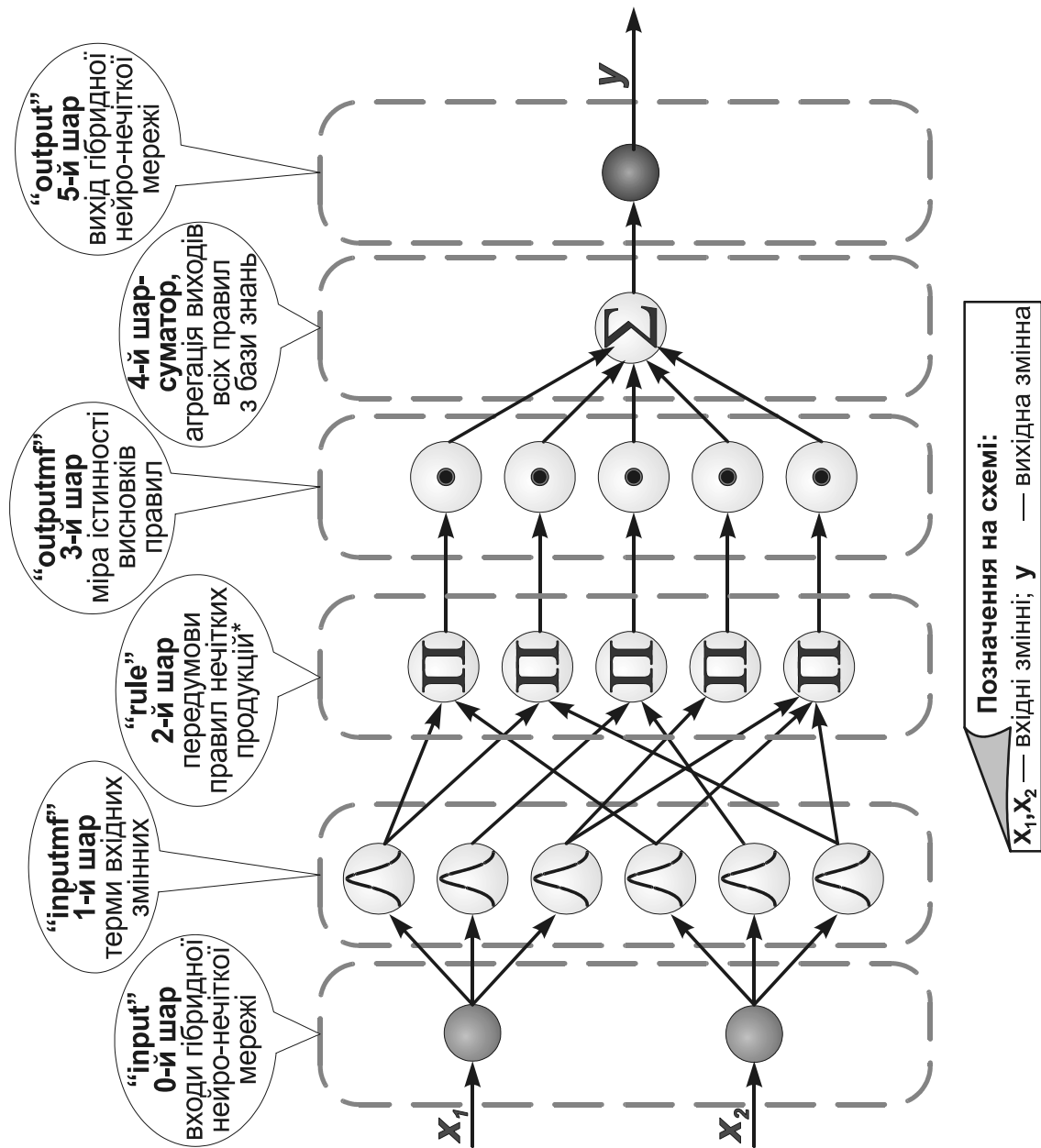


Рис. 4.17. Структурна модель гібридної нейро-неїткої мережі

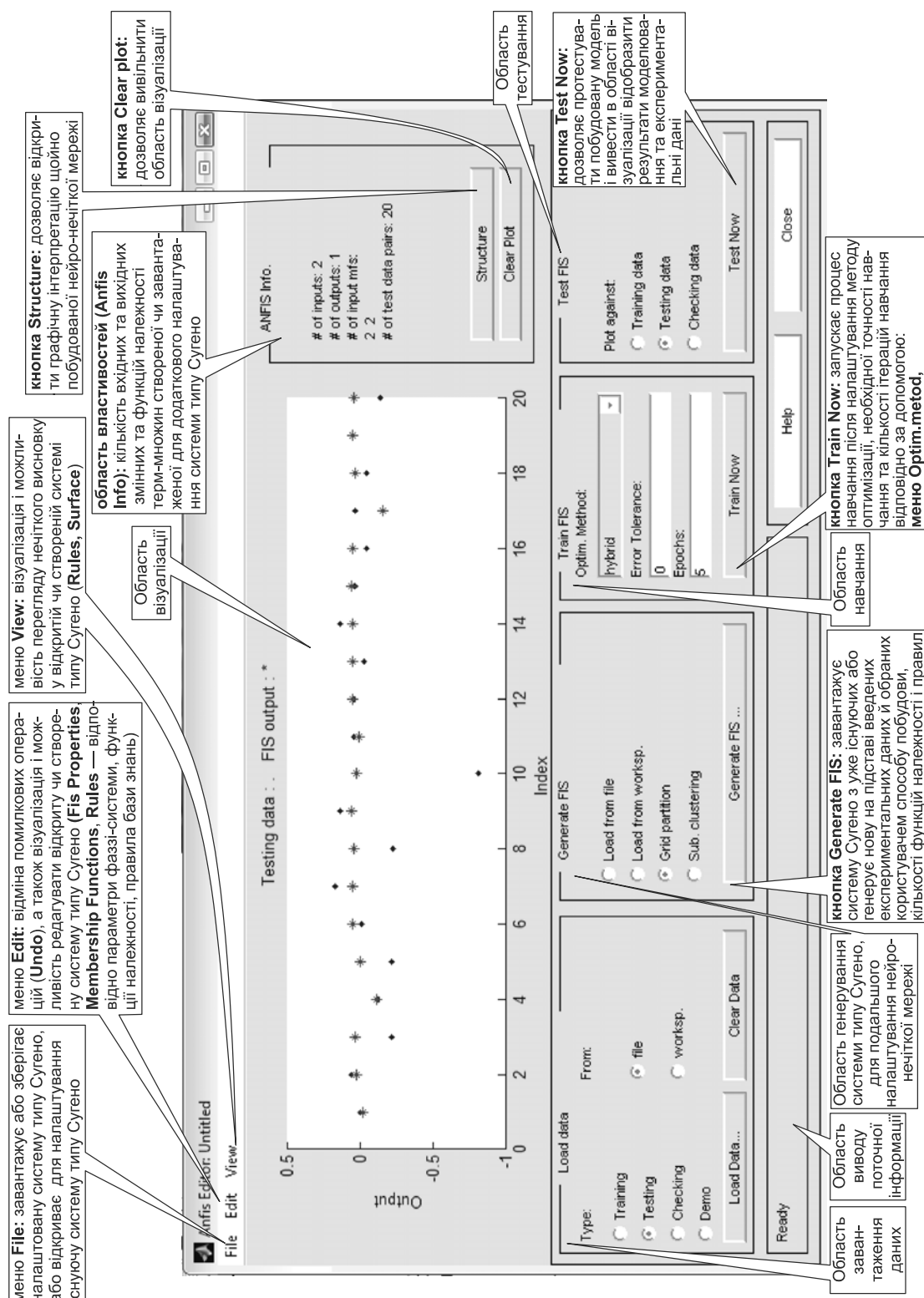


Рис. 4.18. Інтерактивне вікно ANFIS-editor із призначенням основних полів

Під час обчислення параметрів функцій належності використовують відомі процедури навчання нейронних мереж. Зазвичай, використовують комбінацію градієнтного спуску у вигляді алгоритму зворотного розповсюдження помилки. Алгоритм зворотного розповсюдження помилки налаштовує параметри функцій належності.

Крім того, може застосовуватись і метод найменших квадратів, за допомогою якого оцінюються коефіцієнти висновків правил, оскільки ANFIS-модель реалізує систему нечіткого висновку Сугено, у якій вхідні змінні лінійно пов'язані із виходами мережі. Кожна ітерація процедури налаштування виконується в два етапи. На першому етапі на входи подається навчальна вибірка і за нев'язкою між бажаною і дійсною поведінкою мережі методом найменших квадратів обчислюються оптимальні параметри лінійних функцій належності вихідної змінної, які у структурній моделі мережі (рис. 4.17) є нейронам третього шару. На другому етапі остаточна нев'язка передається з виходів мережі на входи і методом зворотного розповсюдження модифікуються параметри функцій належності вхідних змінних — вузлів першого шару. При цьому обчислені коефіцієнти функцій належності вихідної змінної залишаються без змін. Ітераційна процедура налаштування триває доти, доки нев'язка перевищує заздалегідь встановлений поріг.

Програмна реалізація нейро-нечітких мереж засобами MATLAB спрощується у випадку роботи не у режимі командного рядку, а в разі застосування вбудованого редактору **ANFIS**, який шляхом обробки тренувальної вибірки даних обирає якнайкращі, з точки зору узгодження фактичних і розрахункових результатів, параметри функцій належності. При цьому вагові коефіцієнти всіх правил встановлюються на рівні одиниці. Отримана в результаті подібного налаштування система може виявитися надто складною, проте для невеликих систем, що містять одну вихідну і 2 — 3 вхідних змінних, налаштування вагових коефіцієнтів правил за допомогою нейронних мереж надає прийнятні результати. Редактор нейро-нечіткої мережі (**ANFIS-editor**) дозволяє автоматично синтезувати з експериментальних або експертних даних нейро-нечіткі мережі

та налаштовувати їх [30, с. 126 — 130]. **ANFIS**-editor викликається у результаті друку слова **anfisedit** та натискання клавіші ENTER в командному рядку **MATLAB**. У результаті виконання цієї команди з'являється **інтерактивне діалогове вікно** (рис. 4.18).

Відповідно до рис. 4.18, на якому також наведено призначення функціональних полів **ANFIS**-редактору, під час створення або налаштування гібридних нейро-нечітких систем використовують:

- команди меню: **File, Edit, View**;
- область візуалізації;
- область властивостей **ANFIS**;
- область завантаження даних;
- область генерування вихідної системи нечіткого висновку;
- область навчання;
- область тестування;
- область виводу поточної інформації;
- кнопки **Help** та **Close**.

Меню **Edit** містить такі команди:

- команда **Undo** відмінює виконану дію, що може також бути виконано натисканням комбінації клавіш **Ctrl+Z**;
- команда **FIS Properties...** відкриває FIS-редактор, що може також бути викликаним натисканням комбінації клавіш **Ctrl+1**;
- команда **Membership Functions...** відкриває редактор функцій належності, що може також бути викликаним натисканням комбінації клавіш **Ctrl+2**;
- команда **Rules...** відкриває редактор бази знань, що може також бути викликаним натисканням комбінації клавіш **Ctrl+3**;
- команда **Anfis...** відкриває **ANFIS**-редактор бази знань, що може також бути викликаним натисканням комбінації клавіш **Ctrl+4**.

Ця команда, запущена з **ANFIS**-редактору, не призводить до виконання будь-яких дій, оскільки його вже відкрито.

В **області візуалізації** міститься інформація двох типів:

- при налаштуванні системи — динаміка навчання у вигляді графіку залежності помилки навчання від номеру ітерації;
- при завантаженні даних та тестуванні системи — експериментальні дані та результати моделювання.

Дані виводяться у вигляді точок в двовимірному просторі. По осі абсцис відкладається порядковий номер даних у навчальній, тестовій чи контрольній вибірці, а по осі ординат — значення вихідної змінної для даного рядку вибірки. Використовуються наступні маркери:

- **блакитна точка (•)** — тестова вибірка;
- **блакитне коло (O)** — навчальна вибірка;
- **блакитний плюс (+)** — контрольна вибірка;
- **червона зірочка (*)** — результати моделювання.

В **області властивостей ANFIS (ANFIS info)** наводиться кількість вхідних та вихідних змінних, кількість функцій належності для кожної вхідної змінної, а також обсяги вибірок даних. В області (рис. 4.18) розташовано дві кнопки **Structure** та **Clear Plot**. Натискання **Clear Plot** очищує область візуалізації, а натискання кнопки **Structure** відкриває нове вікно (рис. 4.19), в якому система нечіткого висновку відображається нейро-нечіткою мережею.

На рис. 4.19 мережа містить 2 входи, один вихід та 4 нечіткі правила, що позначено чорними та синіми (на рис. 4.19 — темно-сірі) кругами. Кількість білих кругів, з'єднаних з кругами-позначками вхідних змінних відображає кількість їхніх терм-множин.

Про присутність певного терму в логічному правилі свідчить наявність з'єднувальної лінії із синім кругом-позначенням правила. Виходи правил — білі круги є термами вихідної змінної, яких для системи з рис. 4.19 також 4. Агрегація правил нечітких продукції відображена білим кругом, що передує чорному кругу на позначення дефазифікованої вихідної змінної.

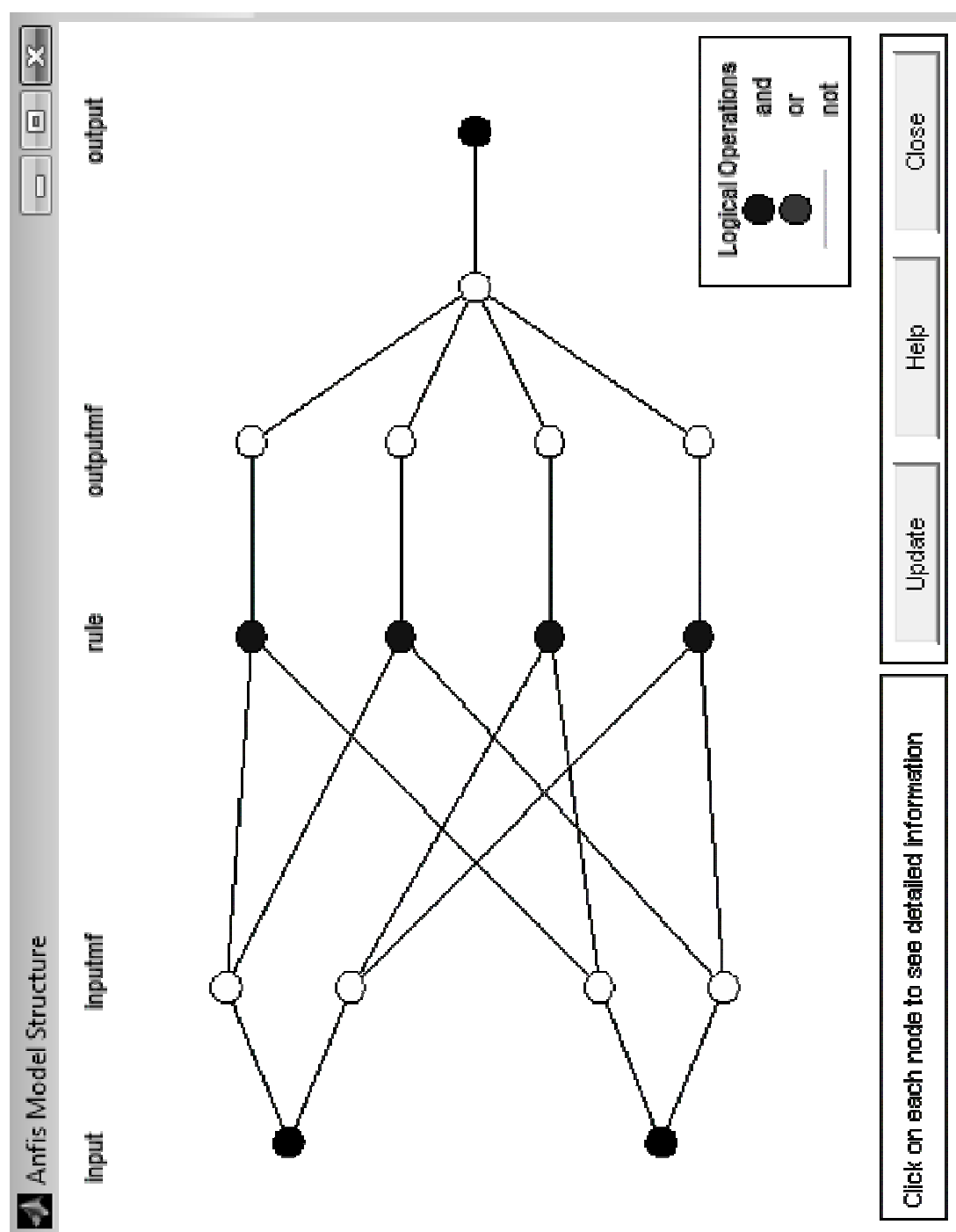


Рис. 4.19. Структура нейро-нечіткої мережі, згенерованої ANFIS-editorom

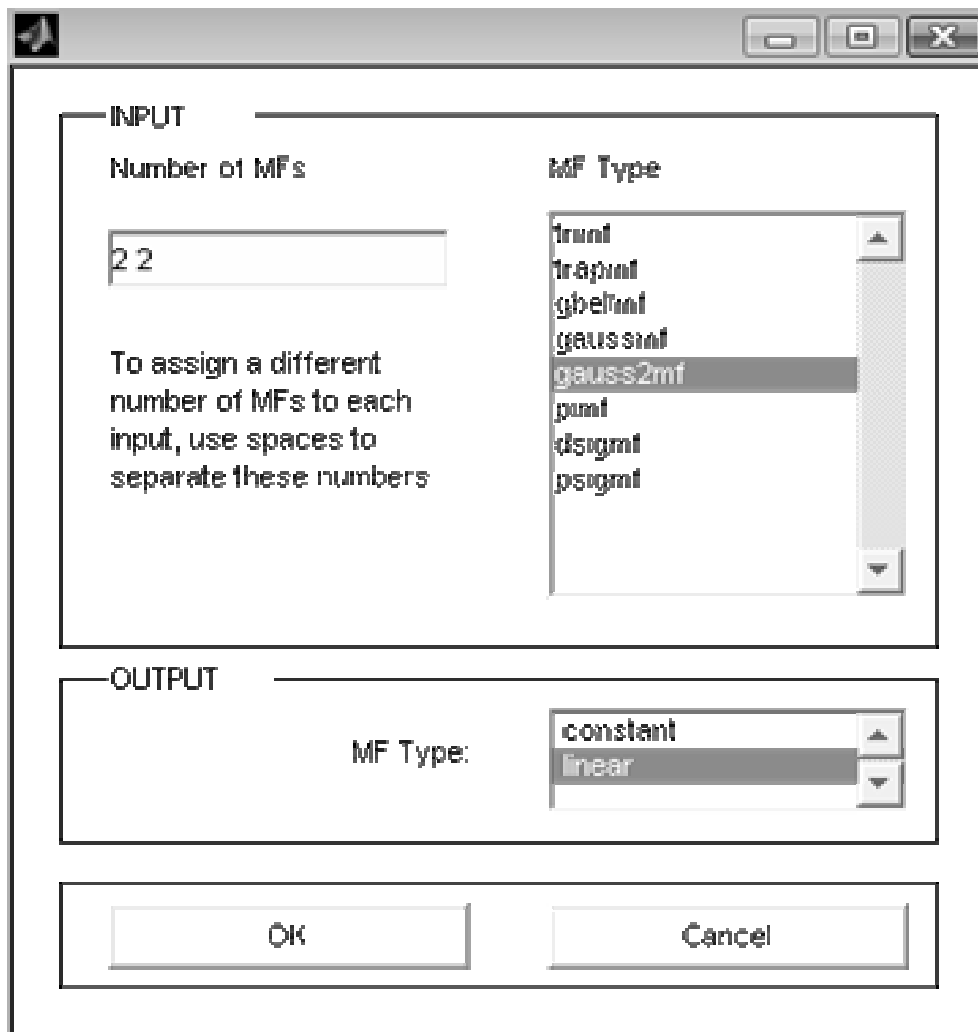


Рис. 4.20. Інтерактивне вікно визначення складових системи Сугено у випадку вибору опції решітчастого розбиття

Для проектування нової гібридної нейро-нечіткої мережі потрібно виконати послідовність дій:

1. Завантажити файл з експериментальними даними за допомогою кнопки **Load data**. Дані являють масив фактичних значень вхідних та вихідної змінної для певної кількості спостережень, збережених у файлі типу ***.dat** чи ***.txt**. Масив вхідних даних може бути імпортований з робочої області (**workspace**) **MATLAB**, до якої можлива вставка вхідних даних шляхом копіювання відповідного табличного масиву, створеного в програмі MS Excel.

2. Встановлення характеристик системи типу Сугено шляхом вибору опції **Grid Partition** (сітчасте розбиття) та натискання кнопки **Generate** області **Generate FIS** (рис. 4.18). Це призведе до появи **вікна вводу параметрів сітчастого розбиття** (рис. 4.20), в якому визначається кількість термів для кожної вхідної змінної та тип функцій належності для вхідних та вихідної змінної.
3. Визначення налаштувань процесу навчання в області **Train FIS** (рис. 4.18) та запуск навчання кнопкою **Train Now**. Ітерації процесу навчання та досягнута в їх результаті помилка навчання одночасно ілюструватимуться в області візуалізації.
4. Перевірка якості нейро-нечіткої системи за допомогою тестової вибірки, що передбачає такі дії:
 - а). Завантаження файлу експериментальних даних, що увійшли до складу тестової вибірки. При цьому в області **Load data** обирається опція **Testing** і після натискання кнопки **Load data** завантажувється потрібний файл даних. Необхідні дані можна завантажити і при допомозі робочої області **(workspace) MATLAB**.
 - б). Запуск тестування мережі натисканням кнопки **Test Now** з області **Test FIS** (рис. 4.18). Залежно від вибору опцій цієї області в області візуалізації буде наведено графік експериментальних даних та даних, отриманих у результаті моделювання. По завершенні тестування в області виводу поточної інформації буде наведено середню помилку по тренувальній вибірці.
5. Перегляд структури нейро-нечіткої мережі, згенерованої **ANFIS-editorom** в результаті натискання кнопки **Structure** з **області властивостей ANFIS (ANFIS info)**. Переглянути процес нечіткого висновку за допомогою нейро-нечіткої мережі можна, скориставшись командою меню **View ⇒ Rules**, — в результаті відкривається вікно **Rule Viewer FIS-editor**. Подальше налаштування параметрів побудованої та навченої моделі може виконуватись

за допомогою стандартних засобів **FIS-editory** шляхом виклику відповідних вікон за допомогою команд меню **Edit**.

6. Збереження створеної чи налаштованої системи Сугено шляхом вибору команд меню: **File** \Rightarrow **Export** \Rightarrow **To disk** (або натискання загальновідомої комбінації клавіш **Ctrl+S**) із подальшим вибором місця зберігання файлу. Як і для будь-якої системи нечіткого висновку, створеної в середовищі MATLAB, програма додає розширення *.fis.

Під час розробки нейро-нечіткої мережі в **ANFIS-editori** слід пам'ятати, що в одному сеансі роботи можна завантажувати дані тільки одного формату з однаковою кількістю вхідних змінних, що співпадає із кількістю входів, визначених в області властивостей **ANFIS (ANFIS info)**

Приклад. Побудова алгоритмів нечіткого висновку за допомогою експертних оцінок та нейро-нечіткої мережі та їх перевірка на предмет якості прогнозування фінансового ризику — негативного грошового потоку енергопідприємств. Наявність чи відсутність загрози фінансового ризику пропонується визначати за показником рентабельності операційного продажу за грошовим потоком. В основу обох алгоритмів нечіткого висновку було покладено дві динамічні характеристики: «випереджене зростання доходу над собівартістю» (τ_{yeld}) та «випереджене зростання доходного грошового потоку над витратним» ($\tau_{ГП}$). Обидва показники обчислюються як різниця між темпами зростання (індексами) відповідно чистого доходу ($I_{чд}$) та собівартості реалізації продукції енергопідприємства ($I_{сєн}$) й додатного ($I_{ГП«+»}$) та від'ємного ($I_{ГП«-»}$) грошових потоків за формулами:

$$\tau_{yeld} = I_{чд} - I_{сєн} = \frac{\text{ф.2, р.035, гр.3}}{\text{ф.2, р.035, гр.4}} - \frac{\text{ф.2, р.040, гр.3}}{\text{ф.2, р.040, гр.4}},$$

$$\tau_{\Gamma\Gamma} = I_{\Gamma\Gamma^{++}} - I_{\Gamma\Gamma^{--}} = \frac{\text{ф.3, сума р.р.179,300,390,гр.3}}{\text{ф.3, сума р. – р.179,300,390,гр.5}} -$$

$$\frac{\text{ф.3, р.400,гр.3 або гр.4} - \text{ф.3, сума р.р.179,300,390,гр.3}}{\text{ф.3, р.400,гр.5 або гр.6} - \text{ф.3, сума р.р.179,300,390,гр.5}}.$$

В обох алгоритмах для кожної вхідної змінної апріорно визначено тільки по 2 терми: «випередження доходу» та «відставання доходу», й «випередження додатного грошового потоку» та «відставання додатного грошового потоку», оскільки навіть в редакторі нейро-нечітких мереж **Anfiseditor** налаштування дозволяють користувачеві самостійно встановлювати кількість термів для кожної вхідної змінної.

Вихідна змінна «рентабельність операційного продажу за грошовим потоком» в алгоритмі, розробленому «вручну», тобто на підставі нечіткої кластеризації, статистичної обробки та кореляційно-регресійного аналізу також матиме два терми: «додатна» та «відмінна». У нейро-нечіткій мережі кількість термів вихідної змінної визначається у результаті багато ітераційного складного алгоритму, який прихований у «чорній скриньці». Проте за будь-якого варіанту розробки нечіткої системи користувач може обирати тип функцій належності змінних.

Як і для попередніх алгоритмів, було обрано П-подібні Гауссові функції належності, тому що в усіх вхідних змінних терми не обмежують мінімальних або максимальних значень вхідних змінних. Кількісні параметри функцій належності було встановлено в результаті нечіткої кластеризації та статистичного аналізу фактичних даних енергопідприємств за 2006 — 2010 роки. Дані 2011 року було використано в ролі контрольних для перевірки якості навчання нейромережі та доцільності запропонованого удосконалення **fuzzy**-алгориму. Оскільки нейро-нечітка мережа може бути програмно побудована на базі алгоритму типу Сугено, для забезпечення зі ставності результатів у проектованому «вручну» алгоритмі для термів вихідної змінної було сформовано лінійні функції належності.

Їх константи-параметри було розраховано на підставі результатів кореляційно-регресійного аналізу фактичних даних, проведеного окремо для випадків додатної та від'ємної рентабельності операційного продажу за грошовим потоком. Характеристики функцій належності систематизовано у вигляді табл. 4.8 та табл. 4.9.

Таблиця 4.8

Функції належності, використані при побудові алгоритму нечіткого висновку для обчислення рентабельності операційного продажу за грошовим потоком (ВХІДНІ ЗМІННІ)

Назва терму	Тип функції належності	Аналітичний вираз функції належності
ВХІДНІ ЗМІННІ		
Змінна «Дохід» (випереджене зростання доходу над собівартістю, τ_{yeld})		
Випередження	Нелінійна, S-подібна	$\mu_{\text{випередження}}^{\tau_{yeld}} = \begin{cases} 1, \tau_{yeld} \geq 0,16; \\ e^{-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\tau_{yeld} - 0,16}{0,076} \right)^2}, \tau_{yeld} < 0,16 \end{cases}$
Відставання	Нелінійна, Z-подібна	$\mu_{\text{відставання}}^{\tau_{yeld}} = \begin{cases} 1, \tau_{yeld} \leq -0,12; \\ e^{-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\tau_{yeld} + 0,12}{0,024} \right)^2}, \tau_{yeld} > -0,12 \end{cases}$
Змінна «Грошовий потік» (випереджене зростання доходного грошового потоку над витратним, $\tau_{\Gamma\Pi}$)		
Випередження	Нелінійна, S-подібна	$\mu_{\text{випередження}}^{\tau_{\Gamma\Pi}} = \begin{cases} 1, \tau_{\Gamma\Pi} \geq 2; \\ e^{-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\tau_{\Gamma\Pi} - 2}{1,7} \right)^2}, \tau_{\Gamma\Pi} < 2 \end{cases}$
Відставання	Нелінійна, Z-подібна	$\mu_{\text{відставання}}^{\tau_{\Gamma\Pi}} = \begin{cases} 1, \tau_{\Gamma\Pi} \leq 0,04; \\ e^{-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\tau_{\Gamma\Pi} - 0,04}{0,16} \right)^2}, \tau_{\Gamma\Pi} > 0,04 \end{cases}$

Таблиця 4.9

Функції належності, використані при побудові алгоритму нечіткого висновку для обчислення рентабельності операційного продажу за грошовим потоком (ВИХІДНА ЗМІННА)

Назва терму	Тип функції належності	Аналітичний вираз функції належності
ВИХІДНА ЗМІННА		
Змінна «Рентабельність операційного продажу за грошовим потоком», $Rп_{CF}$		
Додатна	Нелінійна, S-подібна	$\mu_{\text{додатна}}^{Rп_{CF}} = \begin{cases} 1, Rп_{CF} \geq 0,08; \\ e^{-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{Rп_{CF} - 0,08}{0,03} \right)^2}, Rп_{CF} < 0,08 \end{cases}$
Від'ємна	Нелінійна, Z-подібна	$\mu_{\text{від'ємна}}^{Rп_{CF}} = \begin{cases} 1, Rп_{CF} \leq 0,003; \\ e^{-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{Rп_{CF} - 0,003}{0,0001} \right)^2}, Rп_{CF} > 0,003 \end{cases}$

Нечітка база знань містила три правила, побудованих на підставі аналізу структури передумов отримання додатної та відмінної рентабельності операційного продажу за грошовим потоком, і, звичайно, враховувала фундаментальні закономірності економічного розвитку, а саме:

1. Якщо «додатному грошового потоку» властиве «відставання», «рентабельність операційного продажу» є «від'ємна». Вага цього правила **1**.
2. Якщо «доходу» властиве «випередження» **ТА** «додатному грошового потоку» властиве «випередження», «рентабельність операційного продажу» є «додатна». Вага цього правила **0,5**.
3. Якщо «доходу» властиве «відставання» **ТА** «додатному грошового потоку» властиве «випередження», «рентабельність операційного продажу» є «додатна». Вага цього правила **0,3**.

Нечітку базу знань для гібридної мережі, які і параметри всіх функцій належності було отримано при завершенні автоматичної обробки даних, тобто на виході з «чорної скриньки». При цьому виявилось, що нейро-нечітка мережа є більш складною, порівняно із запропонованою нами на підставі статистичного аналізу та апріорного знання економічних законів, адже для вихідної змінної було програмно визначено не 2, а 4 терми, кількість правил у нечіткій базі знань становила не 3, а 4. Вагові коефіцієнти кожного правила дорівнювали одиниці. Навчання гібридної мережі тривало тільки 2 цикли навчання (епохи), і завершилось, коли середня помилка по тренувальній вибірці склала **0,175**. За тестовою вибіркою її величина виявилась дещо вищою — **0,2205** (рис. 4.21).

Позначки на діаграмах (у вигляді хрестиків для фактичних значень відповідно тестової вибірки та у вигляді зірочок для розрахункових значень рентабельності операційного продажу за грошовим потоком рис. 4.21) свідчать, що у переважній більшості випадків гібридна мережа не видає надмірно завищених даних, а отже вона є придатною для практичного використання.

Терми та функції належності для всіх змінних гібридної мережі зведено в табл. 4.9, причому для кожного терму підібрано лінгвістичну оцінку відповідно до закономірностей пропорційного економічного розвитку.

Порівнюючи дані табл. 4.8 і 4.9, 4.10 та 4.11 можна встановити, що функції належності вхідних змінних подібні тільки за типом залежності, який було задано у налаштуваннях редактору ANFIS. Однак вони істотно розрізняються величиною коефіцієнтів, формою графіку і навіть абсцисою точки перетину графіків функцій належності побудованих окремо для кожної вхідної змінної. У цьому можна переконатись не лише, створивши відповідні fis-файли в середовищі MATLAB, але й розв'язуючи рівняння, які утворюються постановкою знака «дорівнює» («=») між парами функцій належності, сформованими для кожної вхідної змінної.

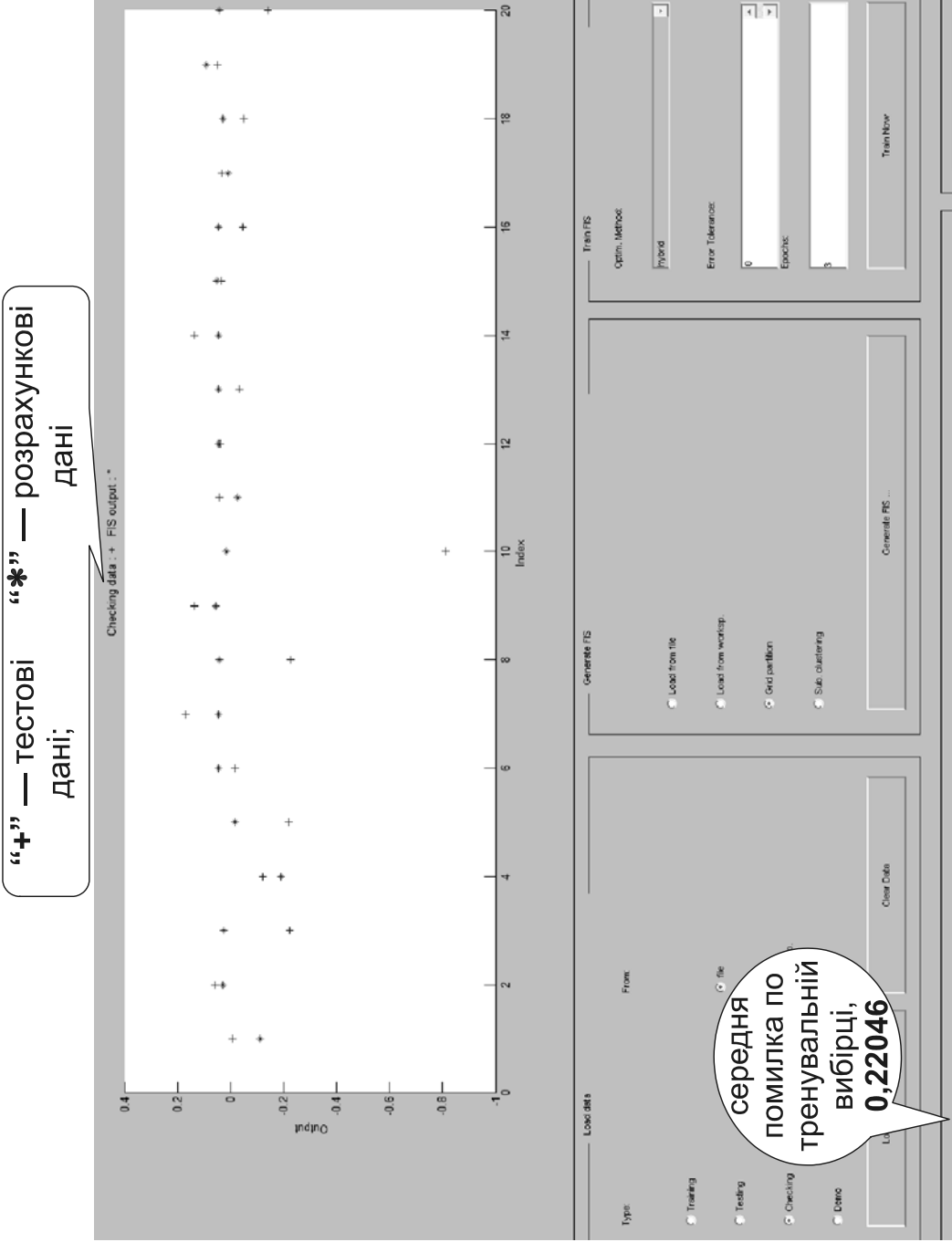


Рис. 4.21. Результати розрахунків рентабельності операційного продажу за грошовим потоком за допомогою нейро-нечіткої мережі, створеної на базі тестової вибірки (автоматично)

На відміну від розробленого на підставі ретельної статистичної обробки (тобто «вручну») алгоритму, його «автоматичний» аналог має більшу кількість термів вихідної змінної і правил нечіткої бази знань. Як свідчить інформація табл. 4.9, в основу гібридної нейро-нечіткої моделі, виконаної за допомогою ANFIS-редактору покладено алгоритм типу Сугено, в якому функції належності термів вихідної змінної є лінійними. Їх коефіцієнти програма обчислила методом найменших квадратів, при цьому було реалізовано ітераційну процедуру налаштування параметрів, доки розбіжності між тренувальними даними та виходами мережі не припинили перевищувати поріг, заздалегідь обумовлений користувачем.

Нечітка база знань гібридної нейро-нечіткої моделі, побудованої за допомогою ANFIS-редактору містить 4 правила із бази знань, кожне з яких має одиничну вагу, наведена у вигляді табл. 4.12.

Сукупність змінних, правил та взаємозв'язків між ними відтворює автоматично згенерована програмою структура (рис. 4.22) темним кольором на ній виділено нейрони, які відповідають правилам нечітких продукцій із використанням логічної зв'язки «ТА», білі нейрони показують кількість термів вхідних і вихідної змінної. В автоматично згенерованій системі, як і у її варіанті, підготовленому за результатами статистичного аналізу не застосовано логічних зв'язок типу «АБО» та «НЕ». Однак, гібридна система, спроектована за допомогою редакторі нейро-нечітких мереж **Anfiseditor** виявилась менш досконалою, ніж спроектована виключно на підставі першого варіанту удосконалення алгоритму нечіткого висновку. Одним із способів тестування такої системи є уточнення вагових коефіцієнтів правил, яке можна виконати також за допомогою **Anfiseditory** в середовищі MATLAB.

Проте система не виконала жодних корективів, ані у коефіцієнти функцій належності, ані у вагу правил, оскільки вже на першій епісі навчання виявилось, що помилка тренувальної вибірки значно менша, ніж досягнута в автоматично побудованій гібридній мережі — **0,1247** проти **0,1753**.

Таблиця 4.10

Функції належності, використані при побудові гібридної нейро-нечіткої моделі для обчислення рентабельності операційного продажу за грошовим потоком, створеного на базі тестової вибірки (автоматично) ВХІДНІ ЗМІННІ

Курсивом наведені позначення термів змінних, автоматично присвоєні редактором ANFIS

Назва терму	Тип функції належності	Аналітичний вираз функції належності
ВХІДНІ ЗМІННІ		
Змінна «Дохід» (випереджене зростання доходу над собівартістю, τ_{yeld} — <i>input1</i>)		
Випередження , <i>in1mf2</i>	Нелінійна, S-подібна	$\mu_{\text{випередження}}^{\tau_{yeld}} = \begin{cases} 1, \tau_{yeld} \geq 0,69; \\ e^{-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\tau_{yeld} - 0,69}{0,18} \right)^2}, \tau_{yeld} < 0,69 \end{cases}$
Відставання , <i>in1mf1</i>	Нелінійна, Z-подібна	$\mu_{\text{відставання}}^{\tau_{yeld}} = \begin{cases} 1, \tau_{yeld} \leq 0,13; \\ e^{-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\tau_{yeld} - 0,13}{0,21} \right)^2}, \tau_{yeld} > 0,13 \end{cases}$
Змінна «Грошовий потік» (випереджене зростання доходного грошового потоку над витратним, $\tau_{гп}$ — <i>input2</i>)		
Випередження , <i>in2mf2</i>	Нелінійна, S-подібна	$\mu_{\text{випередження}}^{\tau_{гп}} = \begin{cases} 1, \tau_{гп} \geq 1,25; \\ e^{-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\tau_{гп} - 1,25}{0,91} \right)^2}, \tau_{гп} < 1,25 \end{cases}$
Відставання , <i>in2mf1</i>	Нелінійна, Z-подібна	$\mu_{\text{відставання}}^{\tau_{гп}} = \begin{cases} 1, \tau_{гп} \leq -0,91; \\ e^{-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\tau_{гп} + 0,91}{0,9} \right)^2}, \tau_{гп} > -0,91 \end{cases}$

Таблиця 4.11

Функції належності, використані при побудові гібридної нейро-нечіткої моделі для обчислення рентабельності операційного продажу за грошовим потоком, створеного на базі тестової вибірки (автоматично) вихідна змінна

Курсивом наведені позначення термів змінних, автоматично присвоєні редактором ANFIS

Назва терму	Тип функції належності	Аналітичний вираз функції належності
ВИХІДНА ЗМІННА		
Змінна «Рентабельність операційного продажу за грошовим потоком», $R_{пCF}$ — <i>output1</i>		
Додатна висока <i>out1mf3</i>	Лінійна	$5,673 \bullet \tau_{yeld} + 64,18 \bullet \tau_{гп} + 1,742$
Додатна помірна <i>out1mf1</i>	Лінійна	$0,4721 \bullet \tau_{yeld} + 0,02746 \bullet \tau_{гп} + 0,1102$
Від’ємна помірна <i>out1mf2</i>	Лінійна	$-0,2529 \bullet \tau_{yeld} + 0,02266 \bullet \tau_{гп} - 0,04296$
Від’ємна низька <i>out1mf4</i>	Лінійна	$-0,7365 \bullet \tau_{yeld} + 6,477 \bullet \tau_{гп} - 10,71$

Таблиця 4.12

Нечітка база знань для обчислення рентабельності операційного продажу за грошовим потоком енергопідприємств, утворена нейро-нечітким ANFIS-редактором (автоматично)

	Якщо			ТО	
	τ_{yeld}	Θ	$\tau_{гп}$	$R_{пCF}$	α
№	«Зростання доходу, порівняно із зростанням витрат»	логічна зв’язка	«Зростання доходного грошового потоку, порівняно із витратним»	«Рентабельність операційного продажу за грошовим потоком»	вага правила
1	з випередженням	ТА	з відставанням	додатна і помірна	1
2	з випередженням	ТА	з випередженням	додатна і висока	1
3	з відставанням	ТА	з випередженням	від’ємна і помірна	1
4	з відставанням	ТА	з відставанням	від’ємна і низька	1

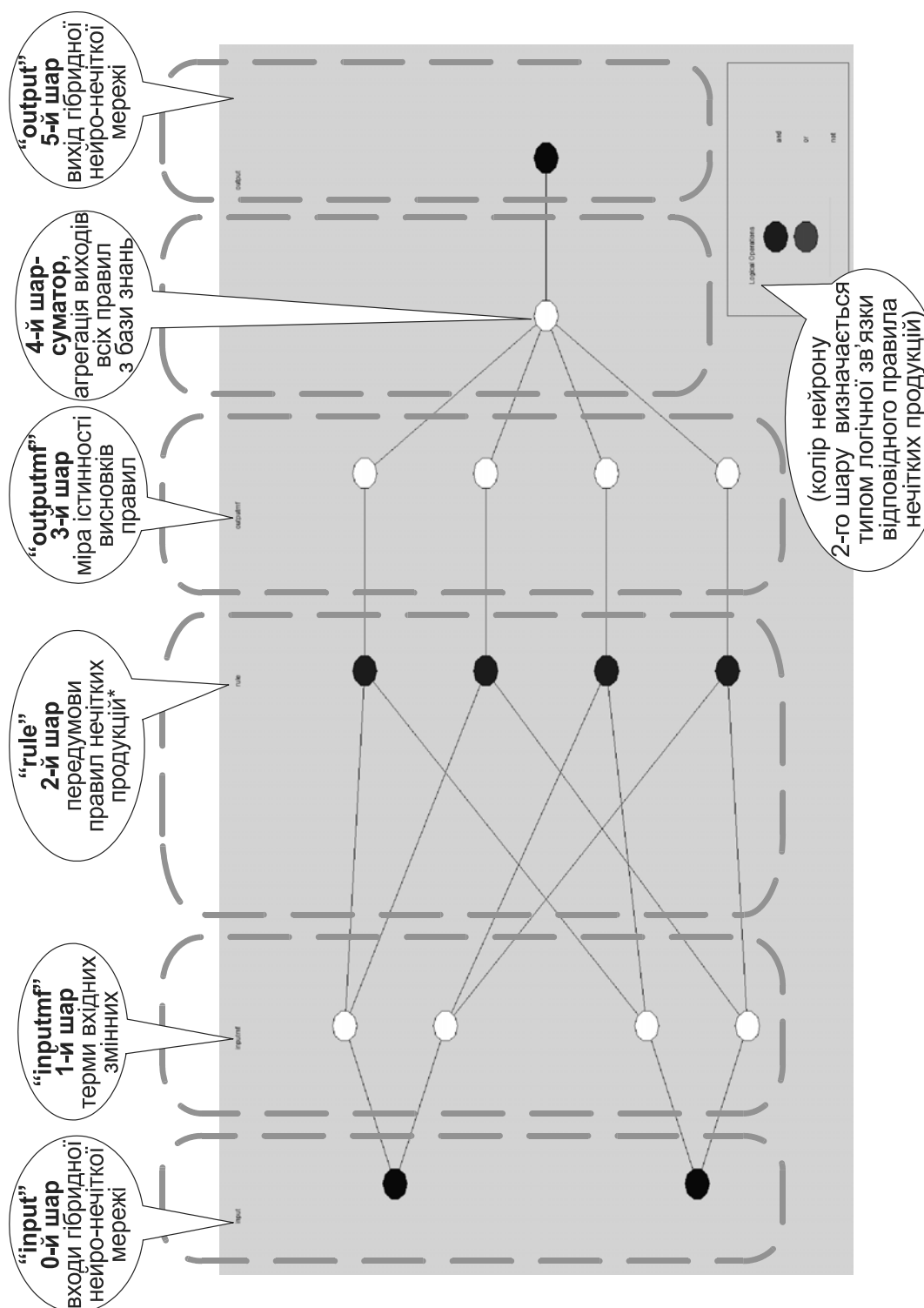


Рис. 4.22. Структура системи нейронечіткого висновку для прогнозування рентабельності операційного продажу за грошовим потоком, згенерованої редактором Anfiseditor «автоматично»

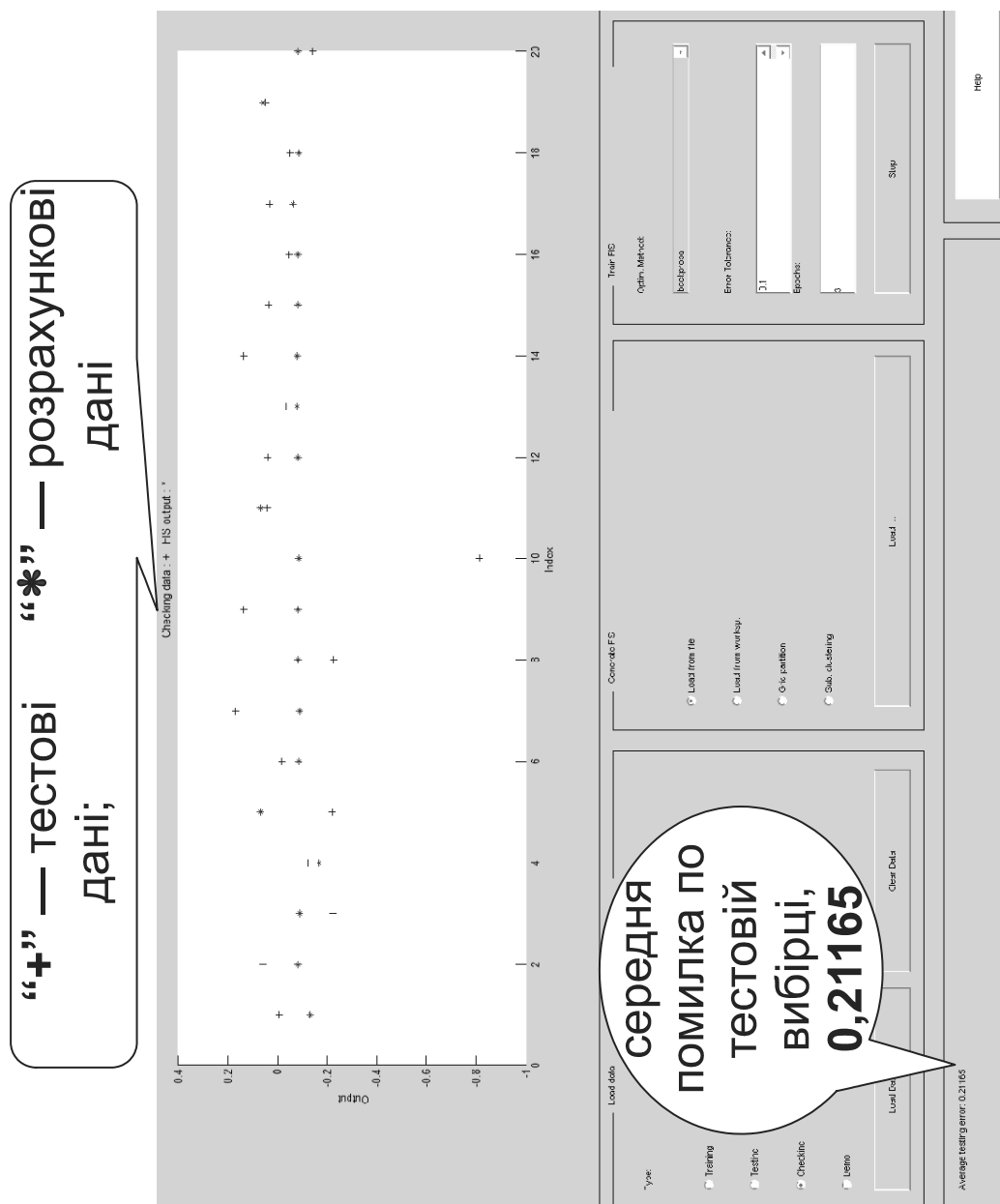


Рис. 4.23. Результати розрахунків рентабельності операційного продажу за грошовим потоком за допомогою нейро-нечіткої мережі, створеної шляхом редагування алгоритму створеного на

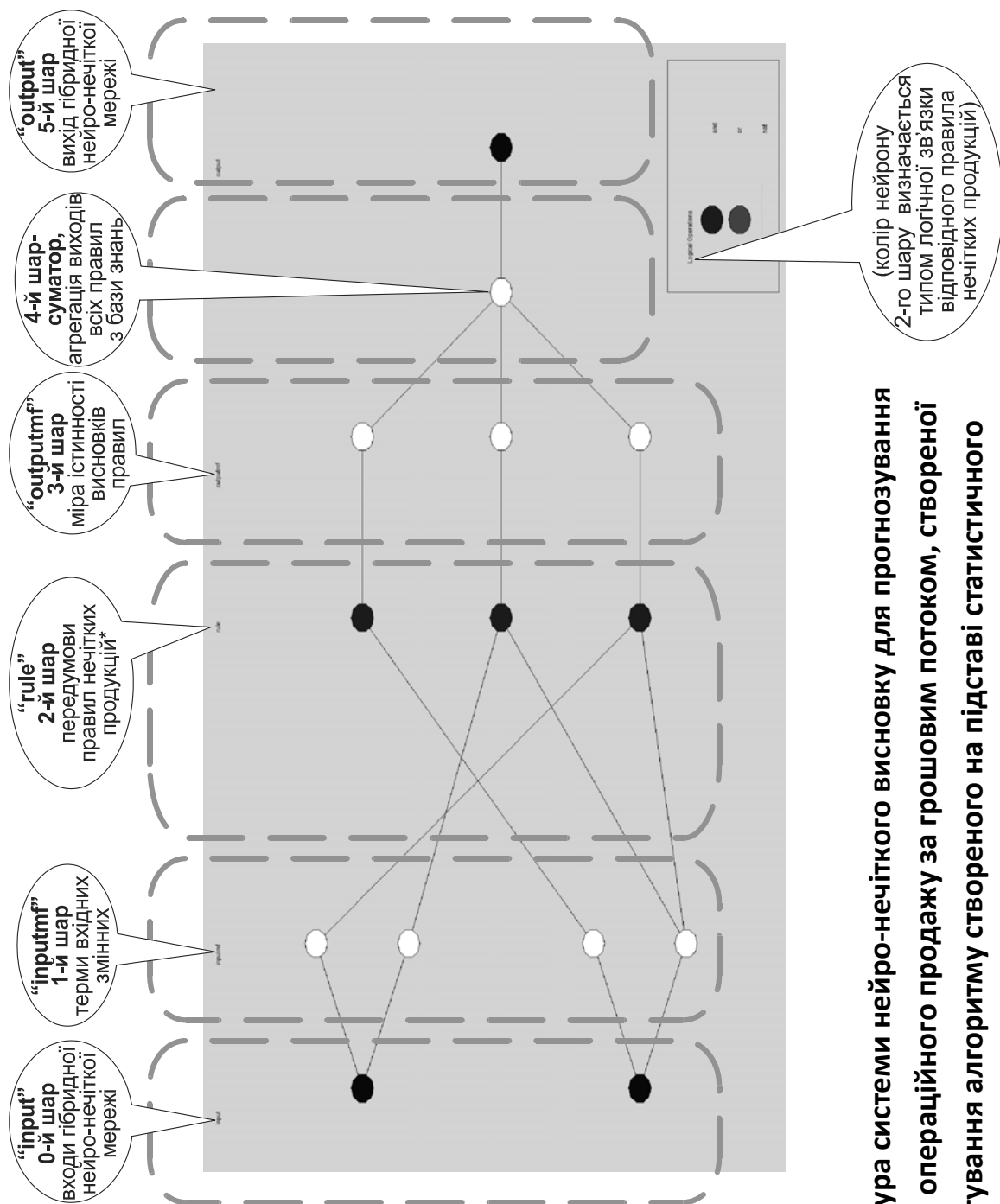


Рис. 4.24. Структура системи нейро-неїткого висновку для прогнозування рентабельності операційного продажу за грошовим потоком, створеної шляхом редагування алгоритму створеного на підставі статистичного аналізу та апріорного знання економічних законів («вручну»)

Для тестової вибірки помилка удосконаленого фаззі алгоритму (рис. 4.23) також менша, ніж в його аналогу, створеного «автоматично» відповідно 0,21165 та 0,22046.

Частина діалогового вікна редактору нейро-нечітких мереж **Anfiseditor**, наведена на рис. 4.23 свідчить, що модель запропонована нами за результатами статистичного аналізу, «припускається» меншій кількості помилок «переоцінки», особливо у випадках, пов'язаних із знаком рентабельності операційного продажу за грошовим потоком. Крім того, структура нейромережі (рис. 4.24) через меншу кількість правил у неї простіша. Чи не єдиним недоліком системи, виконаної без використання нейронної мережі, є недооцінка результатів і песимістичні прогнози (табл. 4.11) у переважній більшості випадків. Однак, як свідчать показники табл. 4.11, у нейро-нечіткій мережі цей недолік виявляється значно сильніше — гібридна модель «тяжіє» до переоцінених оптимістичних прогнозах і тільки в 2-х випадках з 10 змогла передбачити від'ємне значення рентабельності. Таким чином, перший із запропонованих нами інструментів удосконалення системи нечіткого висновку, спрямований на підвищення якості прогнозування грошового потоку, є більш результативним, порівняно з другим.

Таким чином, використання мереж для інформаційної підтримки управління ринковою вартістю підприємств супроводжується високим рівнем ризику появи помилок у прогнозах, що було підтверджено результатами табл. 4.11, а тому не може бути рекомендованим для практичного використання. Отже, цей засіб інтелектуального аналізу даних вимагає подальших досліджень на предмет адаптації до розв'язання задач економічного управління.

Таблиця 4.11

**Результати прогнозування рентабельності операційного продажу
за грошовим потоком, отримані за допомогою Fuzzy-алгоритмів
та гібридних нейро-нечітких мереж, %**

№ спосте- реження	Значення рентабельності операційного продажу за грошовим потоком, %		
	фактично досягнуте у 2010 —2011 р.р.	розраховане за допомогою	
		фаззі-алгоритму Сугено	гібридної нейро-нечіткої мережі
2011 рік			
2	—0,008	—0,133	—0,048
3	0,057	—0,0837	0,028
4	—0,224	—0,0903	0,0264
5	—0,123	—0,166	0,0224
6	—0,219	0,0669	—0,0187
7	—0,016	—0,0871	0,0465
8	0,168	—0,089	0,0455
9	—0,225	—0,0833	0,0426
10	0,136	—0,081	0,0533
2010 рік			
1	—0,813	—0,087	0,0161
2	0,042	0,0668	—0,0263
3	0,039	—0,0822	0,0458
4	—0,033	—0,0798	0,0444
5	0,137	—0,0805	0,0461
6	0,034	—0,0829	0,0506
7	—0,045	—0,083	0,0441
8	0,033	—0,0624	0,0105
9	—0,049	—0,0861	0,0280
10	0,050	0,0592	0,0041
11	—0,140	—0,0837	0,0423

Таблиця 4.12

**Вихідні дані для оцінювання ризику втрати
платоспроможності енергопідприємств**

Дата спостереження	Приріст матеріальних запасів, %	Питома вага простроченої заборгованості покупців у загальній сумі заборгованості	Коефіцієнт покриття (співвідношення оборотних активів і поточних зобов'язань)
01.01.2011	15,80 %	35,35 %	1,58
01.02.2011	6,14 %	26,84 %	1,51
01.03.2011	1,27 %	8,89 %	1,99
01.04.2011	2,86 %	28,86 %	1,70
01.05.2011	14,22 %	22,92 %	0,70
01.06.2011	14,50 %	4,23 %	0,53
01.07.2011	8,39 %	24,19 %	1,84
01.08.2011	11,39 %	3,92 %	1,30
01.09.2011	1,47 %	35,92 %	0,42
01.10.2011	13,44 %	6,51 %	0,83
01.11.2011	10,86 %	4,67 %	1,98
01.12.2011	17,86 %	7,53 %	1,80
01.01.2012	2,39 %	13,39 %	1,17
01.02.2012	10,34 %	38,58 %	2,13
01.03.2012	11,20 %	26,46 %	1,39
01.04.2012	5,27 %	39,69 %	1,38
01.05.2012	11,89 %	40,94 %	0,54
01.06.2012	15,15 %	28,37 %	1,15
01.07.2012	1,54 %	9,12 %	0,69
01.08.2012	4,68 %	13,82 %	0,91
01.09.2012	11,91 %	36,08 %	1,36
01.10.2012	6,63 %	33,96 %	1,16
01.11.2012	4,63 %	14,75 %	1,54
01.12.2012	6,09 %	1,70 %	2,19
01.01.2013	15,40 %	35,35 %	1,58

Запитання та завдання для самоконтролю

1. До якого типу фаззі-алгоритмів належать адаптивні системи нечіткого висновку? Яку вагу мають наявні в них правила нечітких продукцій?
2. Скільки шарів нейронів має ANFIS-модель? Яка кількість і призначення нейронів кожного шару?
3. Як запускається редактор нейро-нечіткої мережі (**ANFIS**-editor)? Як завантажити до нього тренувальні дані? Перевірочні дані?
4. При допомозі яких дій можна вивести на екран структуру нейро-нечіткої мережі, згенерованої ANFIS-editorom? Де, окрім вікна зі структурою, відображається кількість вхідних змінних та їх термів?
5. Яку послідовність дій слід виконати для проектування нової гібридної нейро-нечіткої мережі?
6. Які дії слід виконати, щоб переглянути процес нечіткого висновку за допомогою щойно створеної нейро-нечіткої мережі?
7. На підставі інформації, наведеної у табл. 4.12 побудуйте нейро-нечітку модель для оцінювання ризику втрати платоспроможності енергопідприємством.

Розділ 5

Інформаційно-комунікаційне забезпечення процесу управління ризиками

5.1 Інформаційний ризик і безпека суб'єктів підприємництва

Інформаційна безпека підприємства – це сукупність умов і чинників, що забезпечують захищеність, стабільність та стійкість інформаційного-економічного середовища виробничо-комерційної діяльності. Одиницею виміру рівня інформаційної безпеки є числове значення комплексного показника, розрахунок якого здійснюють за певним алгоритмом. Інформаційно-комунікаційна безпека підприємства розглядається як захист від цілеспрямованої інформаційної агресії чи втрати контролю над інформаційно-комунікаційними ресурсами у зв'язку з дією факторів непереборної сили. Інформаційна складова стосується змісту інформації, обмеженню доступу до неї, цілісності. Комутаційна складова полягає у технічному забезпеченні процесів збору, обробки, зберігання, передачі інформації.

Похідною інформаційно-комунікаційної безпеки для компанії є економічна безпека – комплекс заходів, спрямований на постійний та стабільний розвиток економічних показників, що включає механізм протидії внутрішнім і зовнішнім загрозам. За рівнями прийнято розглядати такі види економічної безпеки: міжнародну (глобальну та регіональну); локальну (регіональна чи галузева всередині країни); приватну (рівень підприємства і окремих осіб).

Поширення цифрових технологій та зростання обсягів обміну інформації, засобом передачі якої є електронні системи, зумовлює

виникнення загроз для підприємств з боку фізичних каналів доступу до комп'ютерних систем. На рис. 5.1 зображено структуру інформаційних потоків, що здатні спричинити таку інформаційно-економічну загрозу підприємству. Окремо виділено людський фактор як узагальнений чинник впливу на функціонування комп'ютерних систем із наступними характеристиками людини-оператора: антропологічні; фізіологічні; психофізіологічні.

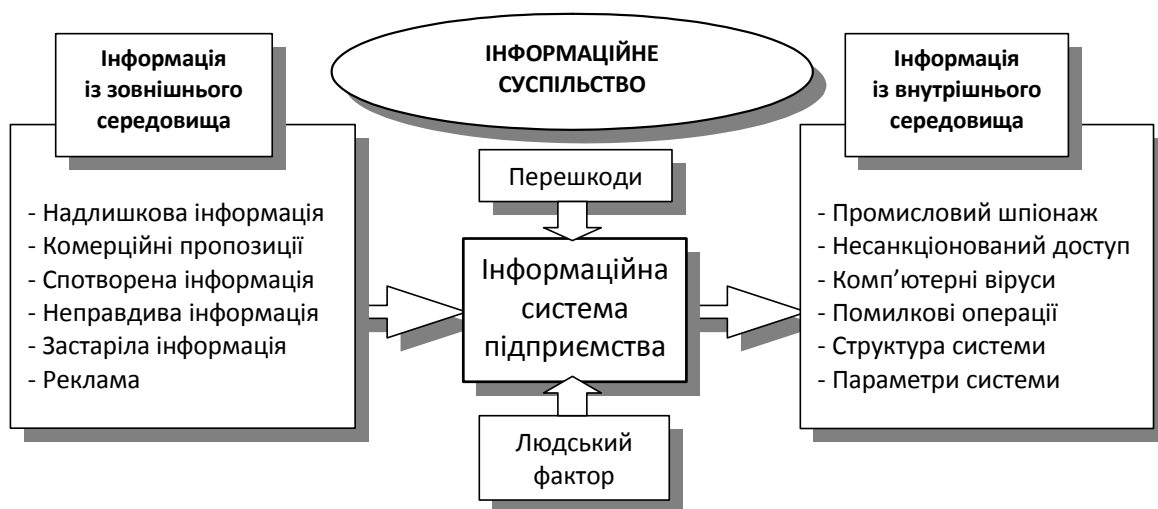


Рис. 5.1. Інформаційні потоки, що створюють небезпеку функціонуванню комп'ютеризованих систем підприємства

Однією з перешкод отримання позитивного ефекту здійснення функцій захисту інформаційно-комунікаційних систем підприємства є стрімкий науково-технічний прогрес у сфері телекомунікації. Адже розвиваються технічні можливості настільки швидко, що спостерігається брак часу на тестування нових продуктів, як наслідок, з'являються «дірки» у програмному забезпеченні. Зловмисники можуть скористатися цими «дірками» для проникнення у систему з певною деструктивною метою. Ще однією перешкодою є глобальні інформаційні кризи у галузі, найбільш відома – це «Проблема 2000».

Впровадження та використання інформаційно-комунікаційних технологій в управлінні технологічними процесами та підприємством вимагає значних витрат ресурсів. Використання наукомісткого високо-технологічного обладнання потребує створення спеціалізованих відділів із певними виробничими площами, технічними засобами, висококваліфікованим персоналом. У зв'язку з коротким життєвим циклом комп'ютерних систем створені комплекси необхідно періодично оновлювати. До того ж компоненти інформаційної системи в складних комплексах потребують додаткового обслуговування, що потребує доповнення кількісного та якісного складу комп'ютерного обладнання за певні, додаткові фінансові ресурси. Зазначене сприятиме відволіканню значних обсягів коштів з основного виду діяльності.

Подальше зростання обсягів витрат на інформаційні технології зменшує частку використання надходжень від реалізації продукції чи послуг на оновлення та розширення основної сфери діяльності підприємства. Як наслідок, може настати інформаційна (комп'ютерна) криза на підприємстві, яка знизить його рівень конкурентоспроможності. Натомість використання сучасних комп'ютеризованих систем надає можливість збільшувати рівень економічної безпеки підприємства завдяки використанню пакетів програм управління підприємством та технологічним обладнанням, впровадженню сучасних програмно-технічних комплексів захисту інформації та документообігу.

Оптимальне значення обсягів витрат на функціонування комп'ютеризованих систем залежить від переліку послуг, що надає телекомунікаційна компанія, професіоналізму обслуговуючого персоналу, інформаційно-програмної незалежності, регіонального розміщення тощо. Особливістю саме телекомунікаційних компаній є те, що на базі одного й того ж обладнання будується мережа, яка здійснює процес надання послуг, і на базі цієї ж мережі можна побудувати систему інформаційно-комунікаційної безпеки. Основу цієї безпеки складає спеціалізоване програмне забезпечення. Відповідно потребуються певні додаткові ресурси для системи – місце на жорсткому диску, оперативна пам'ять,

кванти часу у каналі передачі даних тощо.

При оцінці ефективності функціонування системи необхідно враховувати не тільки грошове вираження економічного ефекту від впровадження, а й нефінансову складову [39, с. 39 – 44]:

- підвищення рівня лояльності клієнтів;
- імідж підприємства;
- темпи виходу на ринок нових продуктів;
- рівень якості управлінських рішень.

Математична модель розрахунку коефіцієнта ефективності, співвідношення надходжень і витрат, представлена у такому вигляді.

$$K_E = \frac{H_{PP}}{B} + \frac{H_{PI} + H_{IP}}{B} + \frac{\sum_{i=1}^n f_n(H_i, B_i)}{B}, \quad (5.1)$$

де загальні витрати підприємства:

$$B = B_{RS} + B_{RS} + B_{OF} + B_{VM} + B_{GS} + B_{PS} + B_{VU} + B_{FM} + B_{OD}, \quad (5.2)$$

де $B_{RS}, B_{RS}, B_{OF}, B_{VM}, B_{GS}, B_{PS}, B_{VU}, B_{FM}, B_{OD}$ – витрати на розробку системи, організацію функціонування, забезпечення витратними матеріалами та компонентами, гарантійний сервіс, післягарантійне обслуговування, витрати на утилізацію, непередбачені заходи, витрати, пов'язані з основною господарською діяльністю підприємства відповідно;

H_{PP} – надходження від продажу основної продукції чи наданих послуг;

H_{PI}, H_{IP} – надходження відповідно від реалізації первинної інформації, надання інформаційних послуг підприємством.

Зазначимо, що окремі складові витрат і надходжень є взаємозалежними, які відображено у функції $f(H_i, B_i)$. Наприклад, витрати на утилізацію компонентів інформаційних систем можуть компенсуватися завдяки реалізації функціонуючих блоків і коштовних матеріалів. До того ж утилізація надає змогу накопичувати дані щодо функціонування виробу,

класифікувати відмови функціонування, проте тестування на етапі утилізації потребує додаткових витрат.

Складова $\frac{H_{PI} + H_{IP}}{B}$ визначає корисність впроваджених інформаційних технологій для підприємства як додаткової сфери діяльності.

На рис. 5.2 зображено ресурсно-грошові потоки в часовому вимірі, які значною мірою впливають на інформаційно-комунікаційну безпеку підприємства.

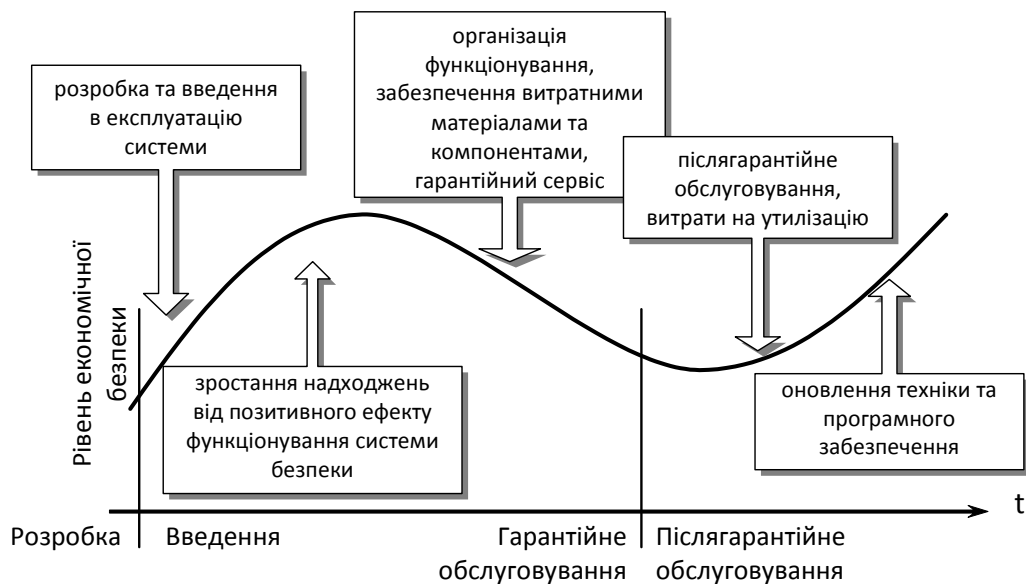


Рис. 5.2. Основні чинники, що впливають на рівень безпеки підприємства впродовж певного проміжку часу

При оцінці ефективності функціонування інформаційно-комунікаційної системи безпеки окремого підприємства необхідно крім проміжних і кінцевих результатів його виробничо-комерційної діяльності розглядати кінцевий народногосподарський результат, тенденції розвитку, вплив на навколишнє середовище тощо.

Впровадження та функціонування інформаційних комплексів у системах управління підприємством передбачає наступне:

- попередній розрахунок рівня економічної ефективності;
- врахування сучасного стану технічного оснащення;

- розумну достатність системних рішень;
- можливість світових інформаційних криз;
- інтеграцію інформаційних систем в інфраструктуру підприємства, держави.

Існує міжнародний стандарт управління інформаційною безпекою ISO 17799:2005. Цей стандарт розроблено Британським інститутом стандартів (BSI). На базі цього стандарту розроблений саме міжнародний стандарт управління інформаційною безпекою ISO 17799:2005, у якому відображено основні поняття та методика якісної оцінки рівня захищеності інформаційної системи. Оцінюється та видається сертифікат на відповідність системи певному класу, рівню захищеності чи певному стандарту безпеки.

Позитивними сторонами після проведення аудита та отримання цього сертифікату є «прозорість» інформаційної системи для менеджменту, виявлення основних загроз безпеки для бізнес-процесів, розробка рекомендацій з підвищення поточного рівня захищеності від виявлення загроз і недоліків у системі безпеки та управління. За результатами аналізу компанії пропонують комплексний план внесення змін у систему управління інформаційною безпекою, як для підвищення реального рівня захищеності, так і для відповідності стандарту.

Сертифікація на відповідність стандарту ISO 17799 (чи BS 7799) дозволяє наглядно показати діловим партнерам, інвесторам і клієнтам, що у компанії відпрацьовано ефективне управління інформаційною безпекою. У свою чергу, це забезпечує підприємству конкурентні переваги, показуючи спроможність керувати інформаційними ризиками.

Для отримання сертифікату відповідності ISO 17799 компанія повинна пройти аудит інформаційної безпеки, провести підготовку інформаційної системи на відповідність стандарту, впровадити зміни та провести кінцеву перевірку відповідності стандарту. Аудит здебільшого виконує спеціалізована компанія, яка має певний досвід у проведенні подібних робіт. Після підготовки комплекту необхідних документів і внесення змін у систему необхідно провести кінцеву перевірку відповідності ISO 17799.

На цьому етапі необхідна участь спеціалістів однієї із консалтингових компаній, які мають ексклюзивні права видачі даного сертифікату та мають акредитацію при UKAS (United Kingdom Accreditation Service).

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Надайте визначення поняттю «інформаційна безпека підприємства».
2. Приведіть структуру інформаційних потоків, що створюють небезпеку функціонуванню комп'ютеризованих систем підприємства.
3. Наведіть складові, на які впливає зростання обсягів витрат на інформаційні технології.
4. Означте фінансову та нефінансову складові економічного ефекту при оцінці рівня ефективності.
5. Доведіть, що окремі складові витрат і надходжень є взаємозалежними.
6. Приведіть перелік основних чинників, що впливають на рівень безпеки підприємства впродовж певного проміжку часу.
7. Охарактеризуйте використання міжнародний стандарт управління інформаційною безпекою ISO 17799:2005.

5.2 Підхід до аналізу рівня ризику на основі експертної оцінки окремих складових проекту

Залучення малих і середніх підприємств до розробки та реалізації ризикових, як правило, науково-технологічних проектів, є одним із напрямів діяльності спеціалізованих установ і організацій, що здійснюють процес впровадження новітньої техніки та технології, сприяють оновленню асортименту продукції (послуг). Такими установами, для прикладу, є технопарки. Відповідно до своїх повноважень, останні здійснюють відбір та експертизу різноманітних інноваційних пропозицій, науково-технічних проектів, як підприємств, так і фізичних осіб. Така діяльність спрямовується на стимулювання, створення та впровадження новітньої техніки та наукомістких технологій. Зазначимо, що попередньо, ще до запуску проекту на реалізацію здійснюється оцінка рівня ризику

інноваційних пропозицій і проектів. Саме на основі цієї оцінки може прийматися остаточне рішення про доцільність та перспективність того чи іншого проекту.

До основних факторів, що можуть впливати на успішність проекту можна віднести наступні:

- джерела ресурсів, їх доступність та вартість (інвестиції, державне фінансування, трудові та матеріальні ресурси);
- регіональні умови (рівень технічного розвитку регіону, наявність ринку, фахівців);
- система обмежень (міжнародна конкуренція, наддержавне регулювання, ресурсне забезпечення);
- сервісна підтримка продукції (функціональна, зовнішня, внутрішня);
- пріоритетні напрями, що підтримуються державою, та орієнтація своєї виробничо-комерційної діяльності з врахуванням цих напрямів;
- ступінь ризику реалізації проектів, особливо наукомісткий та високотехнологічних.

До обмежень при реалізації проектів можна віднести:

- економічну доцільність проекту (виробництва товарів, надання послуг, експлуатація впродовж певних відтинків часу) та використання результатів (врахування точки беззбитковості);
- процеси, що пов'язані з S-подібними кривими (тобто насичення значень (наближення до мінімального та максимального значення) певних показників: науково обґрунтовані обмеження потужності на одиницю об'єму, максимально можливі рівні споживання продукції чи послуг на одну особу).

Проект має містити економічний зиск. Проте конкурентне середовище потребує постійного зниження цін до рівня середніх у галузі. Саме при реалізації проекту варто прогнозувати обсяги потреб ринку у тих чи інших товарах чи послугах, враховувати й динаміку, наприклад, аналізувати міграцію споживачів між адміністративно-територіальними одиницями, а також враховувати вплив монополізації ринків. До речі,

при реалізації проектів особливої уваги потребують інтернаціоналізація, інтеграція, глобалізація, транснаціоналізація економік країн.

До того ж високотехнологічні товари та послуги характеризуються:

- новизною у розробці, використаних технологій та матеріалів;
- значною відносною часткою використання праці висококваліфікованих працівників при конструюванні та виробництві продукції та наданні послуг;
- унікальними фізикохімічними, масогабаритними властивостями;
- значним рівнем ризику при виведенні товару чи послуги на ринок тощо.

На основі вищезазначених переліків факторів та характеристик можливим є формування методики експертної оцінки рівня ризику того чи іншого проекту. Експертиза проводиться з метою здійснення порівняльного аналізу та визначення найменш ризикового варіанту проекту. Таку оцінку слід проводити на стадіях розробки та впровадження, створення і модернізації того чи іншого технологічного процесу. Звичайно, на різних стадіях оцінка рівня ризику має свої особливості, проте підхід можливо використовувати саме універсальний.

Основою підходу є порівняльний аналіз двох і більше варіантів проектів. Такий підхід може бути використаний також при розгляді проектів, за яким відсутня окрема інформація чи довіра до неї може приймати низький рівень. Можливе використання як бальної оцінки експертами впливу кожного параметру на рівень ризику, так і кількісної. Кращою ситуацією є така, яка у експертній оцінці використовує тільки кількісні характеристики об'єкту оцінювання. Проте можливий варіант перетворення якісних, бальних чи бінарних даних у кількісні показники з використанням додаткових методик, які нами не розглядаються і доступні у додатковій літературі. Узагальнюючий (комплексний) показник рівня якості (обернено можна рахувати як рівень ризику) проекту (K_p) розраховується окремо для кожного варіанту за формулою:

$$K_{p,j} = \sum_{i=1}^n \varphi_i \times B_{ij}, \quad (5.3)$$

де φ_i – коефіцієнт вагомості i -го параметра ризику в сукупності прийнятих для розгляду параметрів рівня ризику;

B_{ij} – оцінка i -го параметра якості j -го варіанта проекту в балах;

n – кількість параметрів ризику, які прийняті нами для оцінки.

Кращим варіантом проекту, які розглядаються, є той варіант, який має найнижчий рівень ризику

$$K_{p.}^{ef} = \min_{1 < j < k} K_{p,j}, \quad (5.4)$$

де k – кількість варіантів проектів, які були прийняті для порівняльної оцінки.

При наявності кількісних характеристики властивостей виробу коефіцієнт технічного рівня визначається за формулою:

$$K_{p,j} = \sum_{i=1}^n \varphi_i \times q_{ij}, \quad (5.5)$$

де q_{ij} – відносний (одиничний) i -й показник якості j -ого варіанта проекту.

Нижче подається методика розрахунку рівня якості проекту (обернено – рівня ризику його реалізації) з використанням кількісної оцінки кожного параметру (на практиці можливе приведення якісних та бальних оцінок до кількісного виразу). На основі даних про особливості реалізації проекту, функціональні залежності показників тощо визначаються ті основні характеристики цього проекту, які будуть використовуватися для розрахунку рівня ризику. Сукупність показників, що прийнята до розрахунку, має належним чином і достатньо повно характеризувати низку проектів, за якими розраховується рівень ризику. Зазначимо, що чим більше параметрів прийнято для оцінки рівня ризику проекту, тим точніша

буде оцінка його. Доцільно обирати параметри тих факторів, які суттєво впливають на реалізацію проекту. Відповідно, слід визначитися як з кількістю параметрів, бажано обрати не менше *шести*, так і з самими параметрами, які характеризують більшої мірою процес реалізації проекту. Обрані параметри проекту мають бути належним чином охарактеризовані.

Методика оцінки рівня якості (ризик) проекту викладається з використанням трьох проектів, параметри яких приведені у табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Основні параметри проекту, які зумовлюють ризик його реалізації

Параметри	Одиниця виміру	Проект		
		проект А	проект Б	Проект В
П ₁	ОВ ₁	а ₁	б ₁	в ₁
П ₂	ОВ ₂	а ₂	б ₂	в ₂
П ₃	ОВ ₃	а ₃	б ₃	в ₃
П ₄	ОВ ₄	а ₄	б ₄	в ₄
П ₅	ОВ ₅	а ₅	б ₅	в ₅
П ₆	ОВ ₆	а ₆	б ₆	в ₆

Відносні (одиничні) показники ризику за будь-яким параметром q_i , якщо вони знаходяться у лінійній залежності від інтегрального показника ризику, визначаються за формулами:

$$q_i = \frac{P_{H_i}}{P_{B_i}}, \quad (5.6)$$

або

$$q_i' = \frac{P_{B_i}}{P_{H_i}}, \quad (5.7)$$

де P_{H_i} , P_{B_i} – числові значення i -го параметру відповідно нового та базового виробів.

При наявності нелінійної залежності між параметрами та рівнем ризику проекту, або при умові, якщо параметри відрізняються більш ніж на один порядок (понад 10 разів), слід використовувати наступні формули:

$$q_i = \frac{1}{0,7} \ln\left(\frac{P_{H_i}}{P_{B_i}} + 1\right), \quad (5.8)$$

або

$$q_i' = \frac{1}{0,7} \ln\left(\frac{P_{B_i}}{P_{H_i}} + 1\right), \quad (5.9)$$

чи інші залежності (квадратичні, експоненціальні тощо), що більш всього відповідають специфіці того чи іншого параметру.

Для реалізації методики слід умовно прийняти один із пропонованих проектів за базовий, у нашому випадку приймаємо «Проект Б» (хоча можна взяти й умовний проект, наприклад, дані технічного завдання, зазначене буде нижче використано у прикладі). У формулах саме індексом «б» позначено його як базовий. У формулах саме індексом «б» позначено цей проект як базовий. При цьому всі порівняння у подальшому будемо здійснювати саме з цим проектом. Інші, які беруть участь у розрахунку за чергою від А до В, значення параметра вміщуємо у формулу до значення з індексом «н».

Слід зважати на те, що у випадку коли при зменшенні значення параметру проекту відносно базового рівень ризику знижується, то розрахований відносний показник повинен бути більше 1, якщо зростає – менше 1, якщо не змінюється – має дорівнювати 1. Наприклад,

передбачається за проектом збільшення обсягів виробництва продукції при незмінних інших величинах, то рівень ризику, відповідно, очікується нижчим, а при збільшенні терміну окупності проекту призводить до підвищення рівня ризику реалізації цього проекту.

Для проектів, що розглядаються, відносні показники рівня ризику за параметрами занесено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Приклад розрахунку відносних до Проекту Б показників рівня ризику

Параметри	Одиниця виміру	Проект		
		проект А	проект Б	проект В
P_1	$ОВ_1$	$\frac{b_1}{a_1}$	1	$\frac{b_1}{p_1}$
P_2	$ОВ_2$	$\frac{a_2}{b_2}$	1	$\frac{p_2}{b_2}$
P_3	$ОВ_3$	$\log_{10} \left(\frac{b_3}{a_3} \right)$	1	$\log_{10} \left(\frac{b_3}{p_3} \right)$
P_4	$ОВ_4$	$\sqrt{\frac{b_4}{a_4}}$	1	$\sqrt{\frac{b_4}{p_4}}$
P_5	$ОВ_5$	$\frac{1}{0,7} \ln \left(\frac{a_5}{b_5} + 1 \right)$	1	$\frac{p_5}{b_5}$
P_6	$ОВ_6$	1	1	1

Нижче подається пояснення стосовно кожного умовно приведеного показника у вигляді формули для його розрахунків (за базу порівняння обрано значення параметрів Проекту Б):

- 1) зі збільшенням значення параметра P_1 рівень ризику проекту знижується, лінійна залежність;
- 2) зі збільшенням значення параметра P_2 рівень ризику проекту збільшується, лінійна залежність;

- 3) для P_3 спостерігається логарифмічна залежність при подібному впливу фактора на рівень ризику до параметра P_1 ;
- 4) для P_4 спостерігається степенева залежність при подібному впливу фактора на рівень ризику до параметра P_1 ;
- 5) зі збільшенням значення параметра P_5 рівень ризику проекту збільшується, залежність лінійна, проте значення параметру одного з проектів відрізняються на порядок від базового, $10 \cdot b_4 < a_4$, $b_4 > p_4$;
- 6) значення параметра P_6 для проектів однакові, тобто цей параметр не змінюється: $b_6 = a_6 = p_6$.

Для розрахунку φ у формулі (5.5) здійснюється процедура експертного опитування. Як правило, експертами можуть бути компетентні фахівці сфери, у якій планується здійснити проект.

Вагомість кожного з параметрів у загальній сукупності при оцінці рівня ризику визначається методом попарного порівняння. Так, кожен з експертів визначає те, який з двох параметрів більш важливий. Методом логічного узагальнення визначається найважливіший параметр серед всієї сукупності. Цьому параметру N -ий експерт виставляє оцінку «1» – перше місце серед параметрів. Менш важливому – другу позицію, і так далі, до останнього параметра. Тобто всі параметри, що аналізуються, рейтингуються за рівнем впливу на загальну оцінку рівня ризику реалізації проекту. Можливе виставлянням двом параметрам однієї позиції у рейтингу, наприклад, параметр 2 та 4 є рівнозначними, найвпливовіший є 5 параметр, у такому випадку параметру «5» надається перше місце у рейтингу, а параметрам «2» та «4» – друга і третя позиція одночасно.

Як зазначалося вище, оцінку проводить експертна комісія, кількість членів якої повинна дорівнювати *непарному* числу і до складу неї має входити не менше 5 осіб.

Після процедури визначення коефіцієнтів вагомості (надання параметрам відповідних рангів, проведення рейтингування) здійснюється перевірка придатності експертних оцінок для подальшого використання.

Припустимо, що результати експертного ранжування мають наступний вигляд (подано у стовбцях 2 – 6 у табл. 5.3).

Таблиця 5.3

**Ранжування параметрів та розрахунки
за процедурою придатності результатів**

Назва параметра	Ранг параметра за оцінкою експерта					Сума рангів R_i , R	Відхилення, Δ_i	Δ_i^2
	1	2	3	4	5			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$П_1$	r_{11}	r_{12}	r_{13}	r_{14}	r_{15}	R_1	Δ_1	Δ_1^2
$П_2$	r_{21}	r_{22}	r_{23}	r_{24}	r_{25}	R_2	Δ_2	Δ_2^2
$П_3$	r_{31}	r_{32}	r_{33}	r_{34}	r_{35}	R_3	Δ_3	Δ_3^2
$П_4$	r_{41}	r_{42}	r_{43}	r_{44}	r_{45}	R_4	Δ_4	Δ_4^2
$П_5$	r_{51}	r_{52}	r_{53}	r_{54}	r_{55}	R_5	Δ_5	Δ_5^2
$П_6$	r_{61}	r_{62}	r_{63}	r_{64}	r_{65}	R_6	Δ_6	Δ_6^2
	21	21	21	21	21	105	0	S

Рівень компетентності експертів, глибина розуміння ними особливостей реалізації проекту, можлива упередженість – все це може вплинути на прийняття рішень стосовно важливості того чи іншого параметра. Зазначене зумовлює необхідність здійснення процедури визначення рівня узгодженості (конкордації) команди експертів.

Для цього проводять обрахунок за нижче поданою методикою. Спочатку перевіряється сума рангів за кожним стовпцем (2 – 6), яка має дорівнювати:

$$\frac{n \times (n + 1)}{2}, \quad (5.10)$$

де n — кількість оцінюваних параметрів.

Для приведеного прикладу, у якому використано шість параметрів, сума рангів за кожним стовпцем дорівнюватиме

$$\frac{6 \times (6 + 1)}{2} = 21.$$

Для розрахунків вагових коефіцієнтів доцільно мати максимальну узгодженість між експертами. Саме це надасть можливість максимально об'єктивно оцінити проект. Повна узгодженість практично не досяжна, а її рівень може суттєво різнитися. Проте на практиці приймається доцільним використання експертної оцінки при певному рівні конкордації, який дорівнює чи перевищує певне порогове значення. Рівень порогового значення обирається за довідником. Так, на рівні конкордації 0,4 – 0,5 рахується узгодженість задовільною, при рівні 0,7 – 0,8: висока узгодженість.

Розрахунок:

- а) визначається сума рангів кожного параметра (за кожним рядком), формула (5.11)

$$R_i = \sum_{j=1}^N r_{ij}, \quad (5.11)$$

де r_{ij} — ранг i -го параметра, визначений j -м експертом;

N — число експертів.

- б) здійснюється перевірка загальної суми рангів за формулою (5.12), яка визначається як

$$R = \sum_{i=1}^n R_i = \frac{N \times n \times (n + 1)}{2}. \quad (5.12)$$

У нашому випадку, для 6-ти параметрів та із залученням 5-ти експертів, загальна сума рангів дорівнює

$$R = \frac{5 \times 6 \times (6 + 1)}{2} = 105.$$

в) обчислюється середня сума рангів (T) за формулою (5.13):

$$T = \frac{1}{n} R, \quad (5.13)$$

у нашому прикладі

$$T = \frac{105}{6} = 17.5.$$

г) визначається відхилення суми рангів кожного параметру (R_i) від середньої суми рангів (T) (див. табл. 3, стовпець 8) за формулою (5.14):

$$\Delta_i = R_i - T. \quad (5.14)$$

Для перевірки вірності розрахунків перевіряють суму відхилень за всіма параметрами, яка має дорівнювати нулю.

д) обчислюється квадрат відхилень за кожним параметром (Δ_i^2) та загальна сума квадратів відхилень (табл. 5.3, стовпець 9) за формулою (5.15):

$$S = \sum_{i=1}^n \Delta_i^2. \quad (5.15)$$

е) визначають коефіцієнт узгодженості (конкордації) за (5.16):

$$W = \frac{12 \times S}{N^2 (n^3 - n)}. \quad (5.16)$$

Цей коефіцієнт приймає значення в інтервалі $0 \leq W \leq 1$. У разі повної узгодженості експертів, тобто однакове виставлення рейтингів важливості кожному параметру, цей коефіцієнт дорівнює *одиниці*. Чим більше розбіжностей між думками експертів, тим меншою є значення W . Визначена за формулою (5.16) розрахункова величина W порівнюється

з нормативною W_H для нашого випадку (наприклад, $W_H = 0,4$ для принципово нового проекту, $W_H = 0,7$ для проектів, подібні до якого вже виконувалися). Якщо $W \geq W_H$, то рахується, що експертиза може бути прийнята до подальшого розгляду. І навпаки, при значенні конкордації нижче порогового рівня, подальші розрахунки не доцільно проводити, адже отримали низький рівень узгодженості між експертами. У такому випадку слід проводити повторну експертизу, уточнюючи завдання експертам та надання ним додаткової інформації, що стосується об'єкту експертизи.

В окремих випадках дозволяється залучення нових експертів. Слід зазначити, що саме недостатній рівень узгодженості може призвести до того, що подальша аналітична робота над проектом та повторна експертиза надасть змогу знайти «тонкі» місця і доопрацювати його. А у подальшому зумовить уникнення цих проблемних місць, знизить рівень ризику реалізації проекту.

У випадку, коли визначені експертами дані заслуговують на довіру здійснюється їх використання у розрахунках. За даними табл. 5.3 проводимо попарне порівняння представлених параметрів (результати заносяться в табл. 5.4). Слід звернути увагу, що здійснюється порівняння рангів (місць), а не числових значень, тобто якщо параметру експерт присвоїв першу позицію, то будь-який інший параметр вже буде менший. Це стосується й інших параметрів, наприклад, друга позиція більша за четверту чи п'яту. Тобто у всіх вище зазначених випадках у таблицю ставиться знак «>».

Подальший виклад методики здійснюватиметься на прикладі.

Приклад. Замовнику необхідно мати нову енергетичну установку з певними функціями та параметрами. Декілька організацій пропонує свої проекти з розробки та виробництва цієї установки. Нам необхідно обрати проект, результатом якого є розробка нової енергетичної установки, яка задовольнить вимоги замовника. Замовником визначено низку параметрів, які мають бути задоволені у обов'язковому порядку. Також замовником надана пропозиція того, що, при можливості, доцільно

підвищувати характеристики установки. Тобто мають бути забезпечені параметри не гірше вказаних вимог. Ступінь впливу кожного параметру на комплексний рівень якості установки визначено формулою залежності (у прикладі ці залежності подані різними умовно з навчальною метою і можуть для реального проекту бути іншими, а в окремих випадках, для спрощення розрахунків на практиці використовують тільки лінійні залежності впливу). У табл. 5.4 приведені ці параметри.

Таблиця 5.4.

Вимоги замовника до енергетичної установки

№ з/п	Параметр	Одиниця виміру	Залежність	Вимога до параметру
1	Струм	А	X^2	не менше 20 А
2	Об'єм установки	м ³	$\sqrt[3]{X}$	не більше 2 м ³
3	Допуск	%	X	не більше 5 %
4	Час напрацювання до відмови	t	X	не менше 20 тис. год
5	Коефіцієнт нестабільності	K	$1/X$	не більше 0,85
6	Час запуску	T	X	не більше 10 сек

Зазначені у табл. 5.4. вимоги та опис установки надається експертам для експертизи. Результати їхнього ранжування заносяться у табл. 5.5.

Для розрахунків при однакових оцінках певних параметрів, у нашому випадку ще 2 – 3 та 5 – 6 місця, які визначені другим та четвертим експертами, береться середнє значення, 2,5 і 5,5 відповідно. У таблиці приведено експертна оцінка, проте при розрахунку суми рангів R_i , саме використовується ця середня величина.

Таблиця 5.5

**Ранжування параметрів та розрахунки
за процедурою придатності результатів**

Назва параметра	Ранг параметра за оцінкою експерта					Сума рангів R_i , R	Відхилення, Δ_i	Δ_i^2
	1	2	3	4	5			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_1	1	4	1	1	1	8	-9,5	90,25
P_2	6	6	5	5 - 6	5	27,5	10	100
P_3	5	5	6	5 - 6	6	27,5	10	100
P_4	3	2 - 3	2	3	3	13,5	-4	16
P_5	2	2 - 3	3	2	2	11,5	-6	36
P_6	4	1	4	4	4	17	-0,5	0,25
Суми	21	21	21	21	21	$R=105$	0	342,5

Далі здійснюється розрахунок рівня узгодженості (конкордації) для приведеного прикладу:

- сума рангів кожного з шести параметрів приведена у стовбцю 7 табл. 5.5, загальна сума приводиться у рядку «Суми»;
- середня сума рангів (T) розраховується за формулою (5.13):

$$T = \frac{1}{n} R = \frac{105}{6} = 17.5.$$

- відхилення суми рангів кожного з параметрів (R_i) від середньої суми рангів (T) здійснюється за формулою (5.14) і приведено в стовбцю 8;
- перевірка відхилення приведена у рядку «Суми» для 8 стовпця і має значення «0», що свідчить про вірність проведених розрахунків;
- значення квадрата відхилень за кожним параметром (Δ_i^2) приведено в стовбцю 9 табл. 5.5, загальна сума квадратів відхилень розраховується за формулою (5.15) і приведена в рядку «Сума», стовбець 9;
- коефіцієнт узгодженості (конкордації) розраховується за формулою (5.16) і для нашого прикладу приймає наступне значення:

$$W = \frac{12 \times S}{N^2(n^3 - n)} = \frac{12 \times 342,5}{5^2 \times (6^3 - 6)} = \frac{4110}{5400} = 0,761$$

Так, як коефіцієнт приймає значення у діапазоні 0,7 – 0,8, рахується, що маємо високий рівень узгодженості експертів. Подальші розрахунки є доцільними та задовольняють вимогам методики.

На основі експертизи табл. 5.5 формуємо табл. 5.6, де приведено результати попарного порівняння параметрів кожного експерта. Як правило, використовуються наступні значення коефіцієнтів переваги (a_{ij})

$$a_{ij} = \begin{cases} 1,5 \text{ при } x_i > x_j \\ 1,0 \text{ при } x_i = x_j \\ 0,5 \text{ при } x_i < x_j \end{cases}$$

де x_i і x_j — параметри, які порівнюються між собою.

Таблиця 5.6

Попарне порівняння параметрів за даними експертизи

Параметри	Експерти					Підсумкова оцінка	Числове значення коефіцієнтів переваги (a_{ij})
	1	2	3	4	5		
$x_1 \text{ і } x_2$	>	>	>	>	>	>	1,5
$x_1 \text{ і } x_3$	>	>	>	>	>	>	1,5
$x_1 \text{ і } x_4$	>	<	>	>	>	>	1,5
$x_1 \text{ і } x_5$	>	<	>	>	>	>	1,5
$x_1 \text{ і } x_6$	>	<	>	>	>	>	1,5
$x_2 \text{ і } x_3$	<	<	>	=	>	=	1,0
$x_2 \text{ і } x_4$	<	<	<	<	<	<	0,5
$x_2 \text{ і } x_5$	<	<	<	<	<	<	0,5
$x_2 \text{ і } x_6$	<	<	<	<	<	<	0,5
$x_3 \text{ і } x_4$	<	<	<	<	<	<	0,5
$x_3 \text{ і } x_5$	<	<	<	<	<	<	0,5
$x_3 \text{ і } x_6$	<	<	<	<	<	<	0,5
$x_4 \text{ і } x_5$	<	=	>	<	<	=	1,0
$x_4 \text{ і } x_6$	>	<	>	>	>	>	1,5
$x_5 \text{ і } x_6$	>	<	>	>	>	>	1,5

На основі числових даних a_{ij} , табл. 5.6, формується квадратна матриця $A = \|a_{ij}\|$ (див. табл. 5.7, стовбці 2 – 7).

Таблиця 5.7

Зведена таблиця розрахунків вагомості параметрів

x_i	Параметри x_j						Перша ітерація		Друга ітерація	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	b'_i	ϕ'_i	b''_i	ϕ''_i
x_1	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	8,5	0,236	49,75	0,249
x_2	0,5	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	4	0,111	22	0,110
x_3	0,5	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	4	0,111	22	0,110
x_4	0,5	1,5	1,5	1,0	1,0	1,5	7	0,194	38,5	0,193
x_5	0,5	1,5	1,5	1,0	1,0	1,5	7	0,194	38,5	0,193
x_6	0,5	1,5	1,5	0,5	0,5	1,0	5,5	0,153	28,75	0,144
Всього							36	1,0	199,5	1,0

Перша ітерація розрахунку вагомості (пріоритетності) кожного з параметрів (φ_i) виконується з використанням формул (5.17) та (5.18):

$$\varphi_i = \frac{b'_i}{\sum_{i=1}^n b'_i}, \quad (5.17)$$

де

$$b'_i = \sum_{l=1}^N a_{il}, \quad (5.18)$$

де b_i — вагомість i -го параметра за результатами оцінок всіх експертів — визначається як сума значень коефіцієнтів переваги (a_{ij}) даних усіма експертами по i -му параметру.

Результати здійснених розрахунків заносяться в табл. 5.7, стовбець 8 та 9. Уточнюється вагомість декілька разів, доки наступне значення буде відхилятися від попереднього менш ніж на 5 % (у нашому випадку для 1 та 6 стовбців відхилення склали 5,3 % та -6,0 % відповідно, проте пропонується не здійснювати ще одну ітерацію, а прийняти розрахунки як кінцеві).

Варто перевіряти, щоб для будь-якої ітерації $\sum_{i=1}^n \varphi_i = 1$.

На другій та на наступних ітераціях значення коефіцієнта вагомості (φ_i) розраховується з використанням формул (5.19), (5.20) та (5.21):

$$\varphi_i^v = \frac{b_i^v}{\sum_{i=1}^n b_i^v}, \quad (5.19)$$

де v — номер відповідної ітерації (відповідно, це не ступінь), а b_i^v визначається як перемноження матриць рядка на стовпчик

$$b_i^v = |b_i^v| = |a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}| \times \begin{vmatrix} b_1^v \\ b_2^v \\ \dots \\ b_n^v \end{vmatrix} \quad (5.20)$$

чи

$$b_i^v = a_{i1} \times b_1^v + a_{i2} \times b_2^v + \dots + a_{in} \times b_n^v. \quad (5.21)$$

Відносна оцінка, яка отримана на останній ітерації розрахунків, приймається за коефіцієнт вагомості (φ_i) i -го параметру. За абсолютним значенням (φ_i) судять про вагомість (пріоритетність) певного параметра проекту.

Абсолютні значення величин показників за кожним проектом приведено в табл. 5.8.

Таблиця 5.8.

Технічні характеристики енергетичних установок за варіантами проектів

№ з/п	Параметр	Одиниця виміру	Проект А	Проект Б	Проект В
1	Струм	А	22	25	28
2	Об'єм установки	м ³	1,5	1,2	1,9
3	Допуск	%	3	4	2
4	Час напрацювання до відмови	t, тис. год	30	25	20
5	Коефіцієнт нестабільності	К	0,8	0,75	0,83
6	Час запуску	Т	5	7	6

Для розрахунків відносних показників враховуються залежності та вимоги до параметру (див. табл. 5.4). Стосовно вимог до параметру слід враховувати наступне:

- якщо вимога «не менше», то, відповідно, більше значення цього параметру для певного проекту призводить до більшого рівня його доцільності використання;
- якщо вимога «не більше», тобто саме верхнє обмеження є недоцільним, то менші значення цього параметру є більш доцільними для використання в проекті.

Аналізуючи значення запропонованих варіантів проектів за усіма параметрами (див. табл. 5.4) робимо висновок, що всі ці проекти з розробки енергетичної установки є такими, що задовольняють замовника. Слід обрати кращий з цих проектів саме з технічної точки зору. За базовий рівень обираємо подані замовником базові вимоги. Тобто всі його вимоги є одиничними, тобто мають відносні значення параметрів, які приймаємо за одиницю. Всі інші проекти будемо за параметрами порівнювати з цим, базовим проектом, враховуючи математичну залежність впливу на рівень якості установки.

У табл. 5.9 приведені розрахунки відносних значень показників якості проектів за кожним параметром.

Таблиця 5.9.

**Розрахунки відносних значень показників якості параметрів
проектів енергетичної установки**

№ з/п	Параметр	Проект А	Проект Б	Проект В
1	Струм	$22^2/20^2 = 1.21$	$25^2/20^2 = 1.56$	$28^2/20^2 = 1.96$
2	Об'єм установки	$\sqrt[3]{2.0/1.5} = 1.10$	$\sqrt[3]{2.0/1.2} = 1.19$	$\sqrt[3]{2.0/1.9} = 1.02$
3	Допуск	$5/3 = 1.67$	$5/4 = 1.25$	$5/2 = 2.5$
4	Час напрацювання до відмови	$30/20 = 1.5$	$25/20 = 1.25$	$20/20 = 1$
5	Коефіцієнт нестабільності	$1/0.80 = 1.25$	$1/0.75 = 1.33$	$1/0.83 = 1.21$
6	Час запуску	$10/5 = 2$	$10/7 = 1.43$	$10/6 = 1.67$

Маємо всі необхідні дані для розрахунку комплексного показника рівня якості проектів (табл. 5.10). Значення комплексного показника здійснюється за формулою (5.3), тобто сумується добуток значення відносного значень показників і φ .

Таблиця 5.10.

**Розрахунок комплексного показника якості проекту
енергетичної установки**

№ з/п	Параметр	φ	Проект А	Проект Б	Проект В
1	Струм	0,249	1,21	1,56	1,96
2	Об'єм установки	0,110	1,10	1,19	1,02
3	Допуск	0,110	1,67	1,25	2,50
4	Час напрацювання до відмови	0,193	1,50	1,25	1,00
5	Коефіцієнт нестабільності	0,193	1,25	1,33	1,21
6	Час запуску	0,144	2,00	1,43	1,67
Комплексний показник рівня якості проекту			1,42	1,36	1,54

Вище приведені розрахунки стосувалися технічної сторони проекту. Проте важливу складову посідає економічне обґрунтування доцільності обрання того чи іншого проекту. Замовник бажає отримати енергетичну установку з технічними характеристиками, які є не гірше заданих ним, звичайно, за певну ціну, яка задовольняє його. Прийmemo умовно, що замовник спроможний оплатити 100 умовних одиниць за проект з рівнем якості «одиниця», тобто за тими параметрами, які він зазначив як вихідні. Проте може й розглянути пропозиції з вищим рівнем якості енергетичної установки з дещо вищою ціною проекту. У такому випадку варто використовувати метод комплексного техніко-економічного аналізу.

Для вибору кращого проекту слід побудувати співвідношення ціни та рівня якості у декартовій системі координат. На рис. 5.3 представлено таке співвідношення.

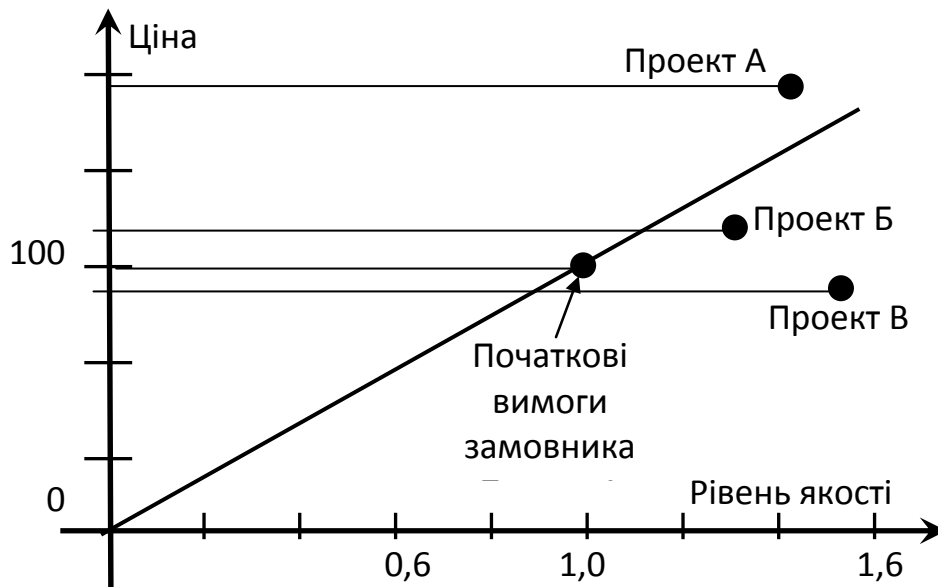


Рис. 5.3. Співвідношення ціни та рівня якості енергетичної установки для проектів

Аналіз кращого проекту здійснюється наступним чином. Квадрант розмежовується на дві площі лінією, яка проходить через «0» системи координат та через точку, яка відповідає технічним вимогам замовника та його орієнтовній ціні, за яку він може придбати проект. Всі проекти, точки яких відповідають вартості та ціні кожного проекту і знаходяться вище цієї лінії є економічно не вигідні, адже ціна відносно вища за комплексний показник якості проекту. У нашому випадку доцільними у використанні є Проекти Б та В, які мають нижчу ціну, а ніж проект А. Хоча для Проекту Б маємо дещо нижчий рівень якості, ніж для проекту А на 4,4 %, проте його ціна нижча орієнтовно на 40 %.

Використовуючи зазначену методику, замовнику надається вибір з двох економічно вигідних проектів: Проект Б і Проект В. Ці два проекти зосереджені нижче лінії, саме тому є економічно вигідними. Подальший

вибір здійснюється на основі ціни. Маємо порівняти за ціною ці проекти. Отримаємо те, що Проект В є найбільш вигідний як з технічної сторони, так і з економічної. Має найвищий рівень якості та найнижчу ціну. Отже організація, яка запропонувала Проект В, отримала замовлення на його розробку, а замовник отримає енергетичну установку з дещо вищими параметрами з дещо нижчою ціною.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Приведіть перелік основних факторів, що можуть впливати на успішність проекту
2. Приведіть перелік обмежень при реалізації проектів
3. Визначте мету проведення експертизи проекту
4. Охарактеризуйте складові комплексного показника рівня якості проекту
5. Приведіть перелік обмежень методики оцінки рівня якості (ризик) проекту
6. Доведіть необхідність використання у методиці відносних показників і різних залежностей порівняння
7. У чому полягає порівняльний (компаративний) аналіз рівня якості (ризик) проектів
8. Опишіть методику рейтингування експертами параметрів проекту
9. Охарактеризуйте поняття рівня узгодженості (конкордації) експертів у проведеної експертизи проектів
10. Опишіть методику визначення коефіцієнтів вагомості для параметрів, що використовувалися в експертизі
11. Визначте основні вимоги до уточнення вагомості коефіцієнтів вагомості
12. Опишіть процедуру визначення комплексного показника рівня якості (ризик) з використанням вагових коефіцієнтів (коефіцієнтів вагомості) та відносних значень показників.
13. Приведіть особливості техніко-економічного підходу до відбору кращого проекту (чи проекту з нижчим рівнем ризику)

5.3 Прогнозування рівня ризику реалізації підприємницьких проектів

Одним з часто використовуваних методів, який застосовується у діагностиці проблематики науково-технічного розвитку, вважається метод аналогій чи порівняння. Важливим є визначення бази порівняння. Порівнювати науково-технічний потенціал об'єкту (проекту, виробництва, підприємства, галузі чи країни) можна за такими варіантами:

- а) зі станом напередодні проголошення незалежності, тобто з 1990 роком;
- б) з аналогічними проектами виробництвами, підприємствами, галузями країн, які раніше входили до складу Радянського Союзу;
- в) з об'єктами країн-сусідів;
- г) з країнами Європейського Союзу;
- д) за рейтингом міжнародних організацій.

Прогнози науково-технічного розвитку розробляються на основі комплексного аналізу поставленої проблематики, можливостей реалізації проектів, наявності необхідного природного, виробничого, науково-технічного та трудового потенціалів, перспективності реалізації проектів для підприємства, країни, світової економіки. Показники, що відображені у цих документах, є орієнтиром для розробки суб'єктами прогнозів, планів, програм, бізнес-планів та інших документів.

Прогноз для науково-технічної сфери, зазвичай, відображає наступні положення:

- аналіз науково-технічного розвитку суб'єкту за окреслений період;
- характеристика проблем розвитку освіти, науки, техніки, технології, економіки та соціальної сфери;
- цілі та пріоритети науково-технічного розвитку та пропозиції щодо напрямів зовнішньої політики у цей період;

- прогноз кон'юнктури на внутрішньому та зовнішніх ринках для реалізації результатів наукових досліджень, впровадження нової техніки та технології;
- прогнозування показників науково-технічного розвитку;
- очікування змін при реалізації проектів у зовнішньополітичній і зовнішньоекономічній ситуаціях та їх вплив на економіку країни;
- оцінка впливу можливих заходів державного регулювання та оцінка ризиків у прогнозованому періоді;
- висновки стосовно тенденцій розвитку економіки країни впродовж прогнозованого періоду.

До основних принципів прогнозування та, відповідно, розробки програм науково-технічного розвитку належать:

- принцип цілісності (забезпечується розробкою взаємоузгоджених прогнозних і програмних документів стосовно науково-технічного розвитку об'єкту, відсутня суперечність інтересам суспільства, підприємства, окремої особи);
- принцип об'єктивності (використання об'єктивної достовірної інформації за даними органів державної статистики, офіційних джерел інформації тощо);
- принцип науковості (забезпечується залученням вчених до аналізу стану та прогнозування розвитку тієї чи іншої технології з використанням відповідної методології, світового досвіду);
- принцип доступності інформації (з однієї сторони, для складання достовірного прогнозу необхідний певний обсяг інформація впродовж визначеного терміну, з іншої, результати прогнозування оприлюднюються);
- принцип самостійності (проекти та програми певною мірою реалізуються самостійно в межах, які оговорені виконавцями перед початком реалізації);
- принцип рівності (дотримання прав та врахування інтересів кожного суб'єкта);

- принцип дотримання державних інтересів (дотримання загальнодержавних пріоритетів та економічної безпеки держави).

Аналіз сфер наукових досліджень та напрямів промислового розвитку в Україні, які зазначені у документах [40; 41] дозволяє дійти висновку про наступне:

- з 10 основних світових пріоритетних напрямів [42, с. 12] активно підтримується розвиток 5;
- медицина, інформаційні технології, телекомунікації, нові матеріали, інші традиційні сфери науково-технічного потенціалу вітчизняних підприємств мають належну законодавчу підтримку;
- впродовж 20 років певна увага приділяється енергозбереженню, модернізації електростанцій;
- біотехнології та ресурсозбереження активно підтримувалося з 2000 року;
- на противагу світовим пріоритетним напрямам [42, с. 12], значна увага приділяється охороні довкілля, розвитку сільського господарства;
- неналежним чином відображається у законодавчій базі оптоелектроніка, аерокосмічні технології тощо;
- нанотехнології отримали державну підтримку з 2003 року.

Загальнодержавна програма розвитку високих наукомістких технологій спрямована на впровадження моделі сталого економічного зростання вітчизняних підприємств шляхом удосконалення структури їх основного капіталу та інтенсивного інвестування високотехнологічного виробництва. Зазначимо, що з 1998 року спостерігається зростання промислового виробництва, хоча його рівень на той час становив всього 49,1 % від показника 1990 року.

Створення технопарків, технополісів, інноваційних центрів, венчурних фондів, інших структур безперечно впливає на процеси високотехнологічного розвитку промислової складової вітчизняної економіки. У свою чергу, спостерігається зростання потреб у фахівцях інженерного профілю, що підкреслює необхідність розвитку технічної освіти.

Можливості співпраці з іншими країнами та реальні проекти, що спільно виконуються, підтверджують науково-технічний потенціал вітчизняної науки. На сьогодні темпи промислового виробництва приймають позитивне значення. Ринкові ніші безперечно визначені потребами світової економіки. Держави-сусіди розвивають високі технології за своїми пріоритетами. Так, Російська Федерація прискореними темпами розвиває нанотехнології (Федеральна цільова програма). Євросоюз започаткував VII Рамкову Програму, значна частка якої була присвячена високотехнологічним сферам. Існують програми співробітництва з азіатськими країнами. Одним із чинників економічного зростання є реалізація міжнародних проектів з ключовими технологічно-інноваційними країнами, до яких відносяться США, Японія, Тайвань, Швейцарія, Швеція, Ізраїль, Фінляндія, Німеччина, Канада, Данія, Нідерланди, Південна Корея, Австрія, Сінгапур, Бельгія, Франція, Велика Британія, Ісландія, Норвегія, Австралія, Ірландія, Гонконг, Нова Зеландія, Італія.

Прогноз є засобом обґрунтування вибору тієї чи іншої стратегії та прийняття конкретних рішень. Методичні засади прогнозування викладено в [42; 43] та в інших джерелах. Стосовно високотехнологічних та наукомістких сфер підприємницької діяльності, прогнозування має передбачати такі основні складові як *пріоритетність*, *перспективність* та *ступінь ризику* при реалізації стратегії. Необхідність у значних капіталовкладеннях, зазначимо, досить ризикових і довгострокових, зумовлює використання низки підходів, порівняння результатів і виважених управлінських рішень на їх основі.

Відповідно, для визначення стратегії (шляху досягнення стратегічної цілі) та досягнення стратегічної мети розробляється відповідний перелік послідовності заходів, на кожен з яких має виділятися ресурсне забезпечення. Реалізація кожного заходу має забезпечуватися аналізом результатів, на основі висновків якого при необхідності здійснюється корегування подальших заходів. Як правило, довготривалі проекти потребують постійного корегування шляху досягнення цілі.

Для наочного представлення моделі досягнення проміжних та кінцевої цілей пропонується тривимірна модель в ортогональній системі координат (рис. 5.4). Модель надає змогу спостерігати за процесами досягнення проміжних цілей за заходами та кінцевої за проектом у координатах пріоритетності, перспективності та ступеню ризику. Вище зазначене корегування представляється у вигляді ламаної лінії.

Для спрощення графічної обробки та аналізу можливий перехід до двовимірних моделей (при цьому слід зафіксувати один із параметрів моделі), що, у свою чергу, дозволяє на площині проводити аналіз інтегральних характеристик виконання заходів і досягнення цілей.

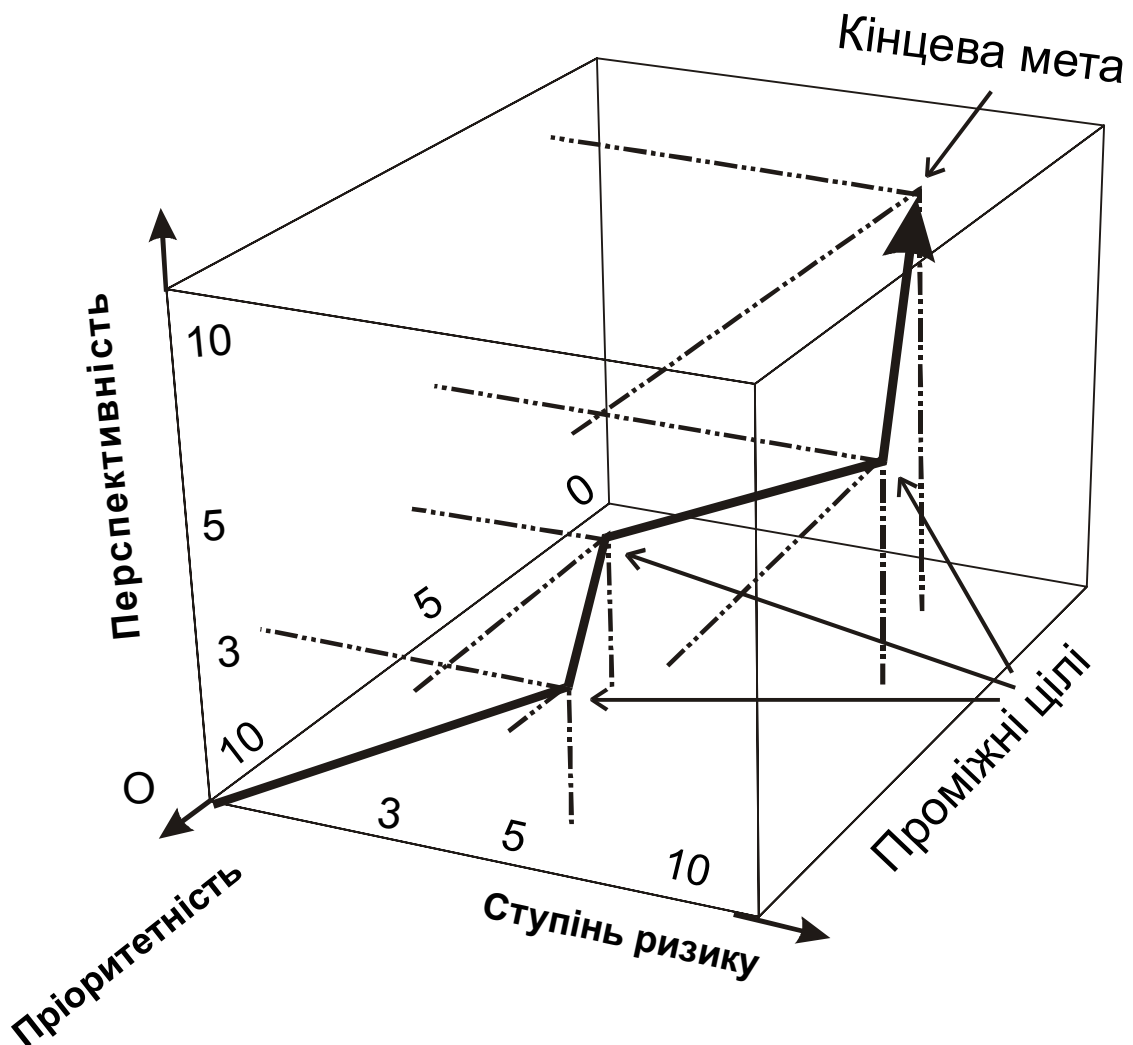


Рис. 5.4. Тривимірна модель досягнення стратегічної мети

Особливість методу трьохвимірного представлення моделі досягнення стратегічної цілі полягає у тому, що у запропонованій системі координат вісь пріоритетності спрямована до центру системи координат і приймає в перетині осей свого максимального значення. Осі перспективності та ступеню ризику приймають нульове значення у центрі системи координат. В основу моделі покладене векторне представлення цілі. Початок вектора цілі знаходиться в центрі системи координат, за виключенням окремих випадків, що будуть розглянуті нижче.

Зазначимо, що центр системи координат (точка O) характеризує теперішнє управлінське рішення — перспективність $P = 0$ балів. Пріоритетність — найвища (для даного випадку дорівнює 10 балів), ступінь ризику мінімальна (0 балів), адже на поточну ситуацію маємо високий рівень інформованості, що знижує ризик прийняття помилкових рішень.

Здебільшого теперішні рішення як оперативного, так і стратегічного спрямування відносяться до таких, що практично визначені, носять оперативний характер чи характеризуються як надзвичайні ситуації — необхідність термінового прийняття рішень (пріоритетність сягає максимального значення).

З вищезазначеного слід зробити висновок, що центр системи координат запропонованої моделі характерний, як правило, для оперативного планування та для прийняття управлінських рішень щодо термінових чи надзвичайних ситуацій.

Для визначення та реалізації в моделі поняття “стратегія” слід розглядати стратегію саме як шлях досягнення довгострокової цілі. У запропонованій графічній моделі стратегічна ціль може бути досягнута двома методами.

Перший метод — уздовж прямої, що з’єднує початкове та кінцеве положення (даний теперішній час та час, що відповідає моменту досягнення стратегічної цілі). Проміжні цілі не розглядають, чи мають другорядне значення для стратегічного аналізу. Цей метод

використовується для аналізу окремих елементів стратегії методом декомпозиції.

Другий метод розглядає просування від початкового до кінцевого стану шляхом переходу від досягнення цілі за ціллю, що мають різний рівень ризику та пріоритетності. Графічно це зображається як складна ламана лінія (див. рис. 5.4), що сполучає початковий стан з положенням кінцевої мети, проте з великою кількістю зломів, переходів, альтернативних цілей тощо.

Аналіз кількості знаходжень у певних зонах надає змогу аналітику мати уяву про реалізацію вибраної стратегії, ступеня ризику для цього конкретного проекту, рівня гнучкості у прийнятті управлінських рішень тощо.

З плином часу реалізації проекту в центр системи координат слід ставити теперішній час і проводити оцінку існуючих цілей, в тому числі і наступних проміжних та переглядати стратегію. Ця процедура надає змогу коригувати стратегію з плином часу, оцінити теперішній інтегральний рівень ризику досягнення мети за прийнятими показниками та стратегій її досягнення.

Вищезазначена модель застосовується для моделювання процесу здійснення місії (головної мети організації). Для досягнення проміжних цілей підприємство має виконувати певні заходи, у тому числі й реалізовувати окремі проекти. Стосовно реалізації проектів, які є складової діяльності організації і, відповідно, визначають реалізацію стратегій, досягнення цілей та здійснення місії, слід зазначити, що вони є, як правило, удосконалення існуючих проектів і лише в окремих випадках належать до новітніх розробок. Для таких проектів, розробка яких вже відбувалася у минулому, певні аспекти ризику вже є відомими. Стосовно новітніх розробок, то рівень невизначеності досить високий. У такому випадку слід враховувати низку факторів, які опосередковано можуть впливати на реалізацію проекту. До таких факторів слід віднести науково-технічні, соціально-економічні, екологічні, політичні, зовнішньоекономічні тощо.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Приведіть перелік баз порівнянь при прогнозуванні рівня науково-технічного потенціалу об'єкту
2. Визначте основні положення в прогнозі для науково-технічної сфери
3. Охарактеризуйте основні принципи прогнозування
4. Надайте характеристику таким складовим реалізації стратегії як пріоритетність, перспективність та ступінь ризику
5. Наведіть засади тривимірної моделі у координатах пріоритетності, перспективності та ступеню ризику
6. Опишіть методи досягнення стратегічної цілі в тривимірній моделі у координатах пріоритетності, перспективності та ступеню ризику

5.4 Трьохвимірна модель визначення стану інформаційно-комунікаційного забезпечення підприємства

Стосовно характерних рис відображення внутрішньої структури об'єктів (підприємств, виробничих комплексів, філій тощо), до складу яких входять елементи інформаційно-комунікаційних технологій як обов'язкові складові функціонування організації зазначимо, що структурування ринку цих технологій здійснюватиметься за такими узагальнюючими сегментами, як інформаційні та телекомунікаційні послуги. Такий підхід базується на ретроспективі формування галузі, поєднанні та нерозривності зазначених двох сфер діяльності. У свою чергу, кожен із сегментів поділяється на низку похідних: інформаційні технології на програмне та апаратне забезпечення; телекомунікації на інформаційні послуги та комунікації.

Особливістю такого поділу на сегменти є те, що останні мають свою присутність як у інформаційних технологіях, так і в телекомунікації. Наслідком такої присутності є формування саме інформаційно-комунікаційних технологій і її подальший розвиток. Ще однією особливістю є те, що елементи інформаційно-комунікаційної сфери присутні у кожній високотехнологічній, наукомісткій сферах, проте у певній пропорції.

Отже маємо телекомунікації, інформаційні технології та ще певну сферу діяльності. Ці три компонента можуть бути використані при формуванні тривимірної моделі, осі якої умовно можна назвати «інформаційні технології», «телекомунікації», «сфери діяльності» [45].

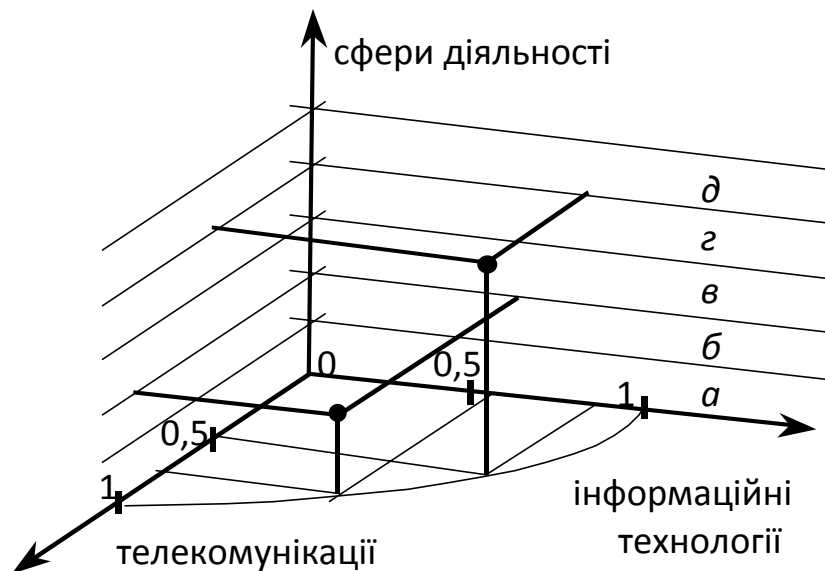


Рис. 5.5. Тривимірна модель використання складових інформаційно-комунікаційних технологій в інших сферах діяльності

Значення на осях відображають ступінь використання елементів інформаційних технологій чи телекомунікацій у відносних величинах (значення показника лежить у діапазоні від 0 до 1, здійснюється нормування). Для осі «сфери діяльності» здійснюється дискретний розподіл, кожний шар – це певна сфера діяльності. Шари розміщуються у зручному для читання результатів порядку, наприклад, можуть бути розташовані за рівнем наукомісткості чи високотехнологічності тієї чи іншої сфери діяльності, від меншого рівня до більшого, чи навпаки. Розташування шарів принципового значення немає, а залежить тільки від цілі дослідження, зручності використання тощо. Тривимірна модель зображена на рис. 5.5. На цьому рисунку умовно приведено 5 сфер діяльності (позначено від *а* до *д*). Для прикладу наведено два варіанти,

які відображають співвідношення телекомунікацій та інформаційних технологій для певних сфер діяльності – у нашому випадку сфери б і г.

На рис. 5.6 та рис. 5.7 представлено візуалізацію трьохвимірної моделі для окремих підприємств.

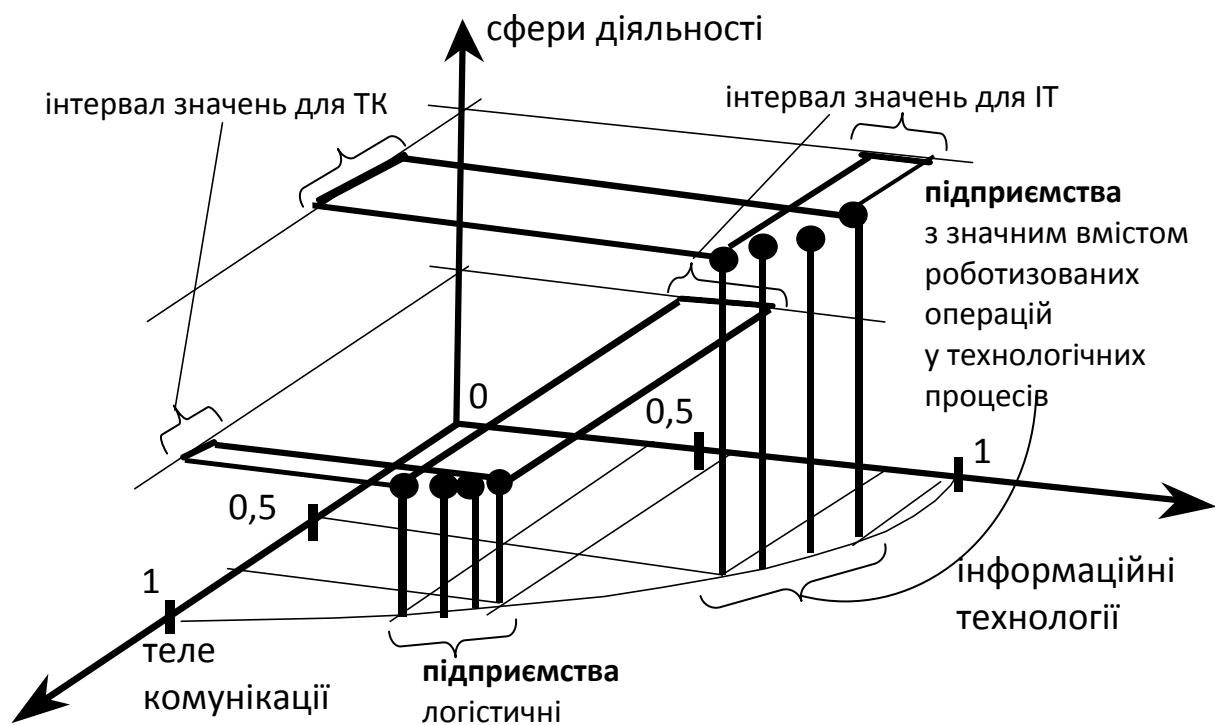


Рис. 5.6. Варіанти реалізації моделі використання складових інформаційно-комунікаційних технологій в інших сферах діяльності

Побудова такої моделі на основі реальних даних підприємства надасть змогу візуально оцінити вміст певної складової у тому чи іншому підприємстві. Зазначену візуалізацію можливо здійснити й для певних виробництв, сфер бізнесу чи для конкретного продукту. У такому разі на вертикальній осі відкладаються ті чи інші об'єкти за певною ознакою, наприклад, виробництво електронних пасивних елементів, інтегральних мікросхем, мікропроцесорів.

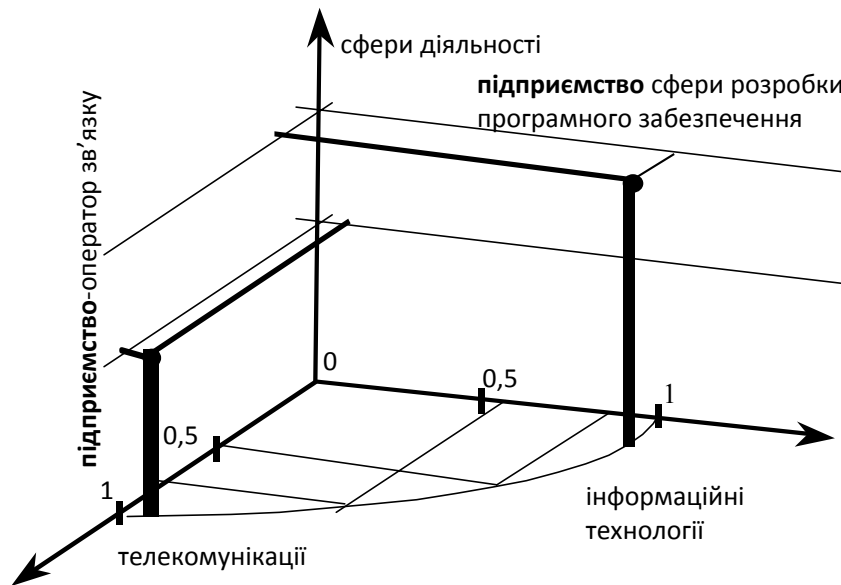


Рис. 5.7. Варіанти крайніх випадків реалізації моделі використання складових інформаційно-комунікаційних технологій

Можливим є оцінювання за видами етапами життєвого циклу, наприклад, наукові дослідження, виробництво, реалізація, сервіс, утилізація. Доцільним в окремих випадках є аналіз того чи іншого продукту (спрощена модель, серійна модель, ексклюзивна річ).

На рис. 5.8 приведено варіант використання окремо як телекомунікацій, так і інформаційних технологій у «чистому вигляді» (рис. 5.8а).

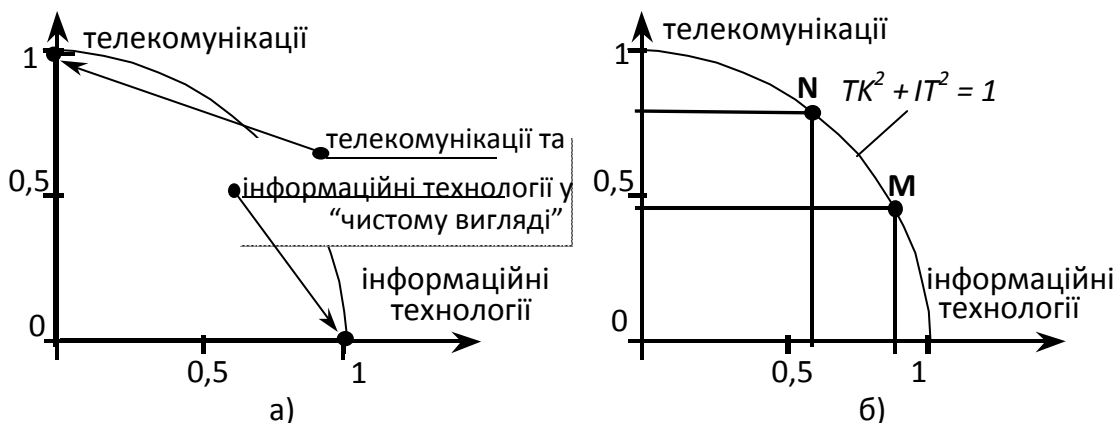


Рис. 5.8. Двовіррна модель поєднання складових інформаційно-комунікаційних технологій в продуктах

На рисунку зумисне зображено незначне відхилення від нульового значення, адже саме поняття “чистого вигляду” на практиці не існує. На рис. 5.8б приведено графічну інтерпретації моделі для продуктів N та M при використанні елементів обох сфер у певній пропорції та приведена формула дуги, на якій сума значень нормованих складових кожної технології дорівнює одиниці.

Розглядаючи методики побудови дво- та тривимірних моделей за аналогією можна таким же чином побудувати модель для всіх складових інформаційно-комунікаційних технологій. Спостерігатиметься значна різниця у співвідношенні вартості забезпечення для домашніх, офісних і професійних комп'ютерів (серверів, кластерів, робочих станцій). Для останніх програмне забезпечення може становити величину, яка у декілька разів перевищує вартість “заліза” (апаратного забезпечення).

Припустимо, що внесок у вартісному вираженні інформаційних технологій та телекомунікацій у певний об'єкт однаковий. Також припустимо, що технічна та кількісна характеристика складових є однаковою. Розглянемо зміну параметрів у часі. З плином часу здебільшого технічна сторона залишається незмінною, а вартісна оцінка може змінюватися. При відомій величині зміни вартості перерахунок та побудова нової точки на дузі не викликає ускладнень, точка змінює своє положення (рис. 5.9а).

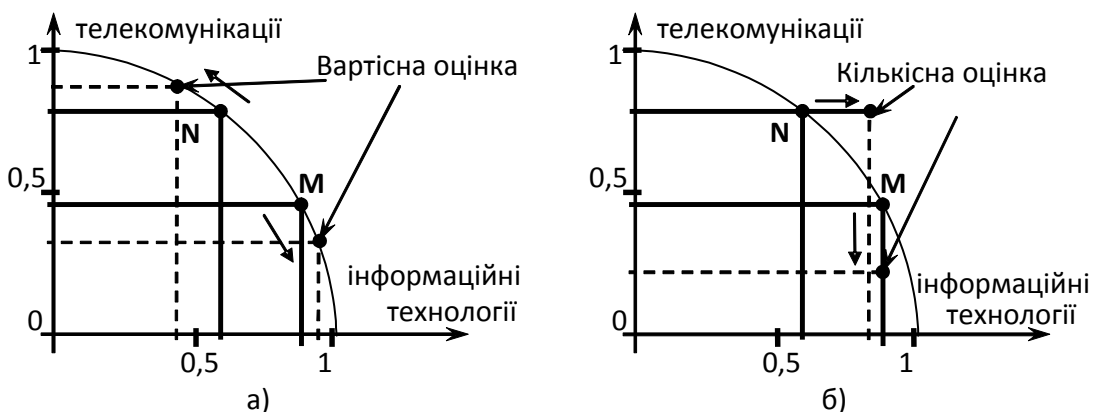


Рис. 5.9. Двовимірна модель з врахування вартісних та кількісних оцінок

Напрям зміни показує тенденції у галузі, а це, у свою чергу, надає можливість оцінити поточну ситуацію і прийняти відповідні управлінські рішення, тобто підвищити конкурентоспроможність підприємства, яке у певному обсязі використовує інформаційно-комунікаційні технології.

При зміні кількісних характеристик об'єкту умовно фіксуються вартісні показники, а точка рухається паралельно до осі. Такий варіант представлено на рис. 5.9б. Зазначений підхід сприяє орієнтовній оцінці об'єкта без використання трудомістких операцій розрахунку вартості складової. Оцінюється тільки технічний чи кількісний внесок. Точність не несе принципового значення. Для візуалізації динаміки таке рішення є задовільним.

Тривимірна (та спрощений варіант – двовимірна) модель дозволяє аналізувати об'єкти, до складу яких входять елементи інформаційних технологій та телекомунікації. Таким чином можливо аналізувати й інші сфери, які мають тісні зв'язки. Графічне представлення відношення складових наглядно показує структуру об'єкту. Об'ємне зображення сприяє оцінці декількох об'єктів, порівняння їх стану в розрізі обраних параметрів, до того ж миттєво визначається їх належність до тієї чи іншої сфери.

Для поглибленого аналізу тривимірна модель використовується для відображення динаміки процесів. Окрім цього важливим є те, що при введенні нових елементів до складових чи вилучення існуючих не потребуються трудомісткі операції розрахунку вартості складової. Візуалізація результатів аналізу надає можливість приймати відповідні управлінські рішення стосовно напрямів розвитку підприємства, позиціонування товарів та послуг на ринках, спостерігати за тенденціями змін, прогнозувати шляхи подальшого розвитку.

Іншим підходом до прогнозування в сфері інформаційних технологій та телекомунікацій є такий, що використовує модель з двома парними показниками (чотирьохкомпонентна попарна модель). Одна пара містить два компоненти телекомунікацій (здебільшого, інформаційні послуги та зв'язок), інша – два компоненти товарів інформаційної сфери (вироби апаратного забезпечення, зазвичай, радіоелектронні вироби,

та програмний продукт). У загальному, взаємозв'язок між ними описаний вище, всі чотири параметри є взаємопов'язаними складовими. Для спрощення моделі пропонується використання системи координат, кут між осями встановлюється 90 градусів (рис. 5.10).

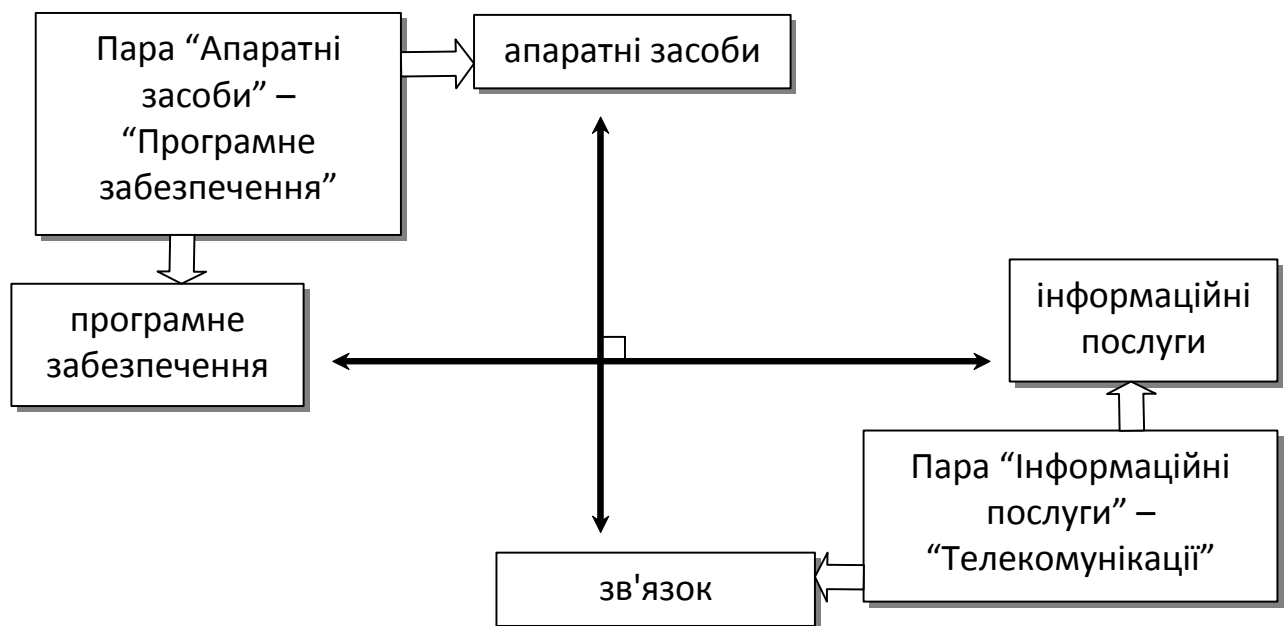


Рис. 5.10. Чотирьохкомпонентна попарна модель для аналізу ринку інформаційно-комунікаційних технологій

Довжина вектора пропорційна надходженням коштів (об'єктом може бути країна /дані Державної служби статистики України/, статистика інших країн, профільна галузь, об'єднання підприємств, підприємство, підрозділ підприємства) від реалізації продукції та послуг тієї чи іншої сфери діяльності. У моделі розглядаються окремо пара “апаратні засоби” та “програмне забезпечення” і пара “інформаційні послуги” та “зв'язок”.

Особливістю візуалізації зазначеної моделі для аналізу всіх чотирьох складових є відображення на площині векторів відповідного масштабу (довжина має бути пропорційна до обсягу надходжень від того чи іншого об'єкту, у нашому випадку – складові). Всі ці вектори будуються на осях декартової площини, утворюючи кут 90 градусів відносно «сусідніх»

векторів. Для кожного набору векторів використовуються дані за один і той самий період часу (календарний рік чи інший відтинок часу).

Динаміка (розвиток складової у часі) у цій моделі реалізується в аксонометрії. Початок кожного вектора розміщується на третій осі, що характеризує плин часу. Довжина вектора формується як геометрична сума надходжень від тієї чи іншої сфери (відрізок повинен відповідати масштабу даних) за той чи інший період. Вісь часу має початок у точці перетину осей сфер діяльності (складових) і виходить під кутом, наприклад 45 градусів, що візуально створює об'ємне зображення. Вектори, що характеризують стан кожної «пари», що досліджується, свій початок розмішують через певні відтинки на цій третій осі.

Для прикладу на рис. 5.11 побудована така модель, де кожен період дослідження (2002 – 2005 рр.) розміщений окремо на осі часу.

Візуально за побудованою моделлю можна оцінити різницю у обсягах надходжень як у статистиці, так і в динаміці. Для аналізу пари “апаратні засоби” та “програмне забезпечення” побудуємо вектори (геометрична сума обсягів надходжень за кожним періодом дослідження на рис. 5.11).

При перенесенні початку кожного вектора до єдиного центру явно спостерігається тенденція збільшення довжини вектору протягом періоду, що досліджується (див. рис. 5.11, знизу). Також зменшується значення кута, вектор наближається до осі “програмне забезпечення”. Зазначене свідчить про тенденцію зростання обсягів надходжень від програмного забезпечення для даного періоду часу. Стосовно України, то це може бути пов'язано з прийняттям відповідної законодавчої бази відносно ліцензійного програмного забезпечення, що знизило рівень використання «піратських» копій.

Аналогічно можна побудувати відповідні залежності і для іншої пари чи складових. Також можливе порівняння векторів кожної пари. Чотирьохкомпонентна модель сприяє більш якісному дослідженню ринків товарів і послуг при використанні неї разом з іншими методами, прогнозувати зміни у країні, галузі чи на підприємстві.

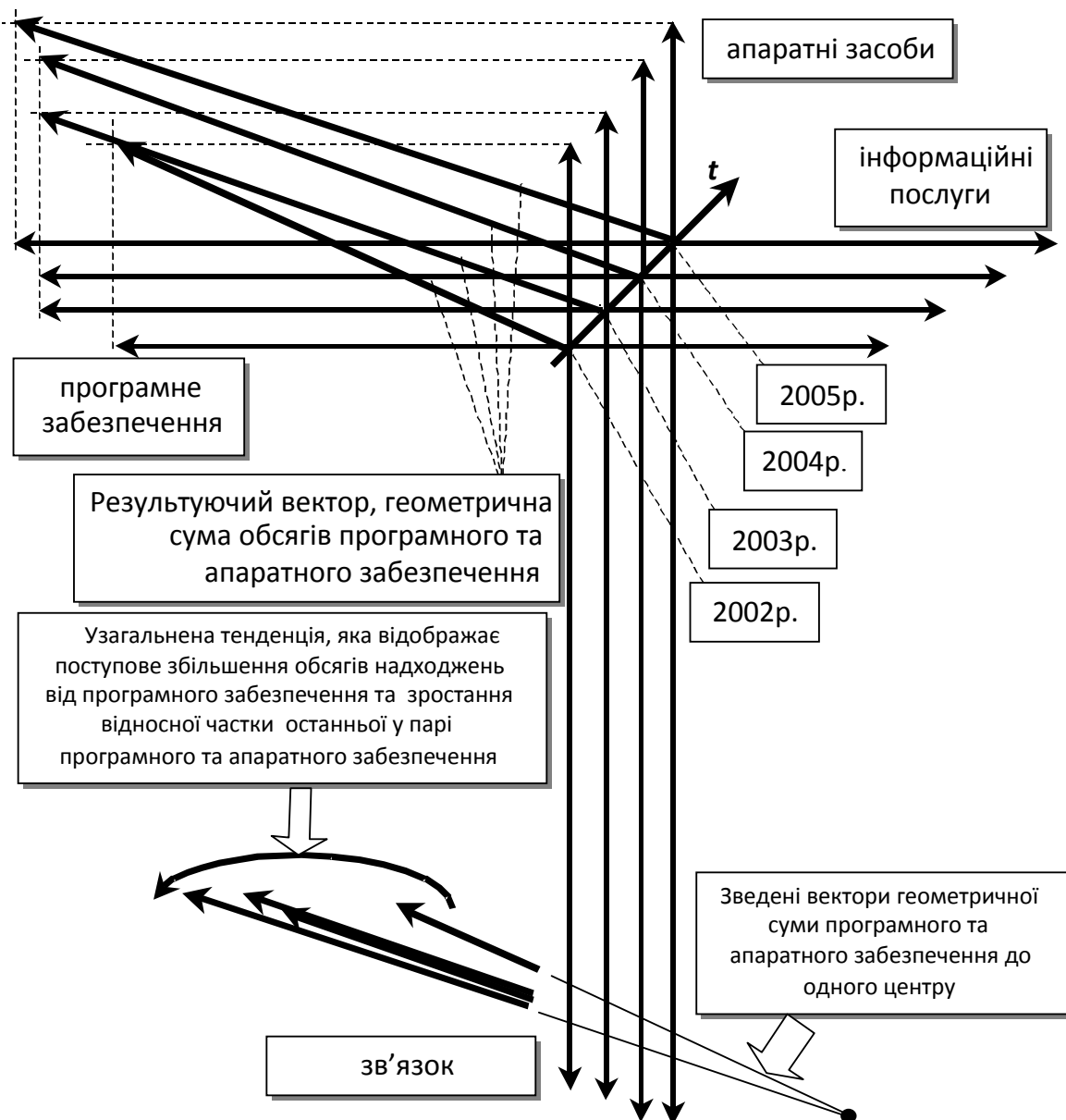


Рис. 5.11. Чотирьохкомпонентна попарна модель аналізу обсягів надходжень ринку інформаційних технологій

Візуалізація результатів моделювання надає можливість приймати відповідні управлінські рішення стосовно напрямів розвитку підприємства чи іншого об'єкта, здійснювати позиціонування товарів і послуг на відповідних ринках, спостерігати за змінами тенденцій, прогнозувати можливі шляхи подальшого розвитку підприємництва.

Реалізація моделі за 2002 – 2011 роки представлено на рис. 5.12.

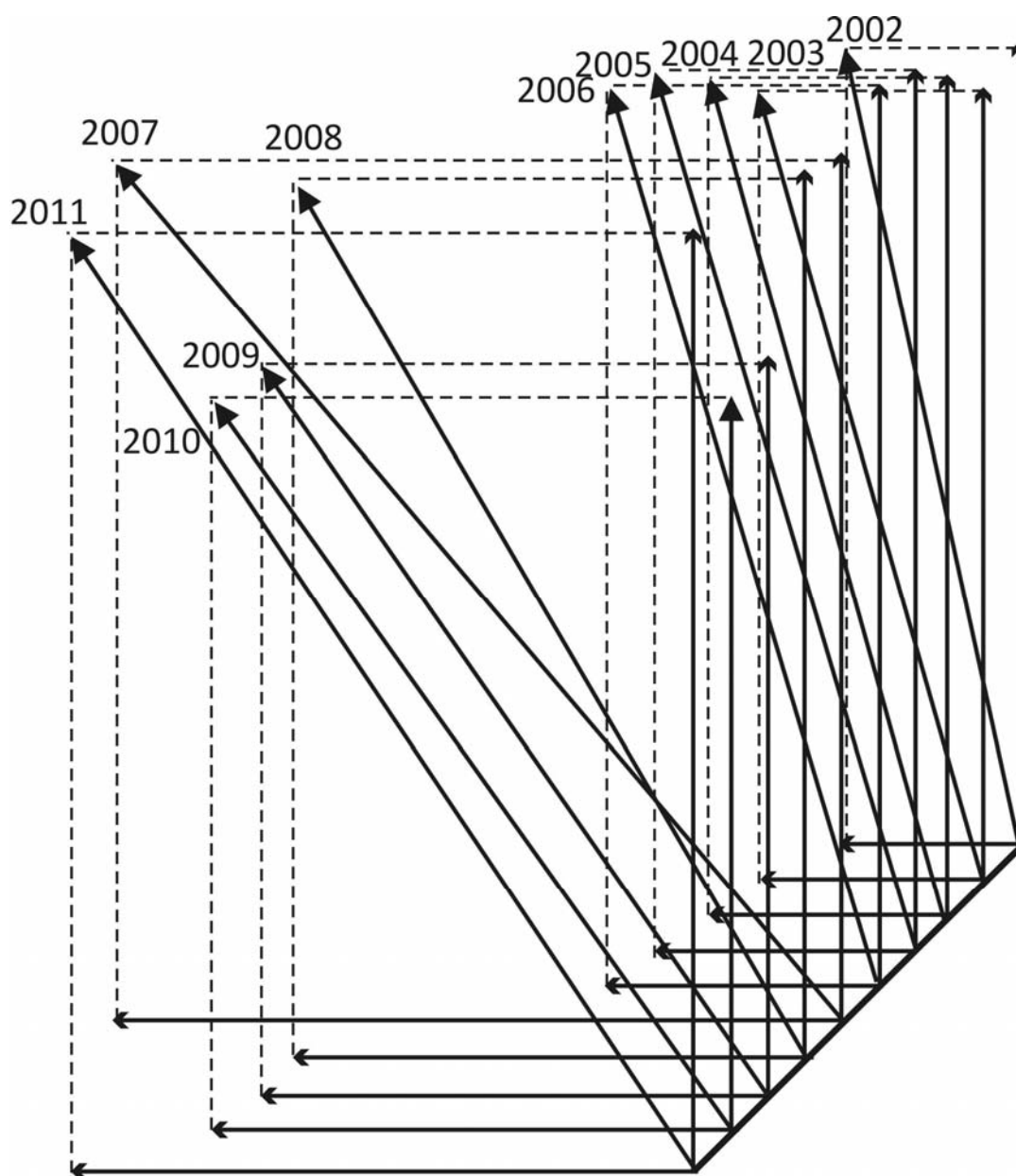


Рис. 5.12. Візуалізація векторів у динаміці в чотирьохкомпонентній моделі на основі двох компонентів ІТ-технологій за 2002 – 2011 роки

На рис. 5.13 приведено візуалізацію зведення до одного центру вектори геометричної суми ринку програмного та апаратного забезпечення.

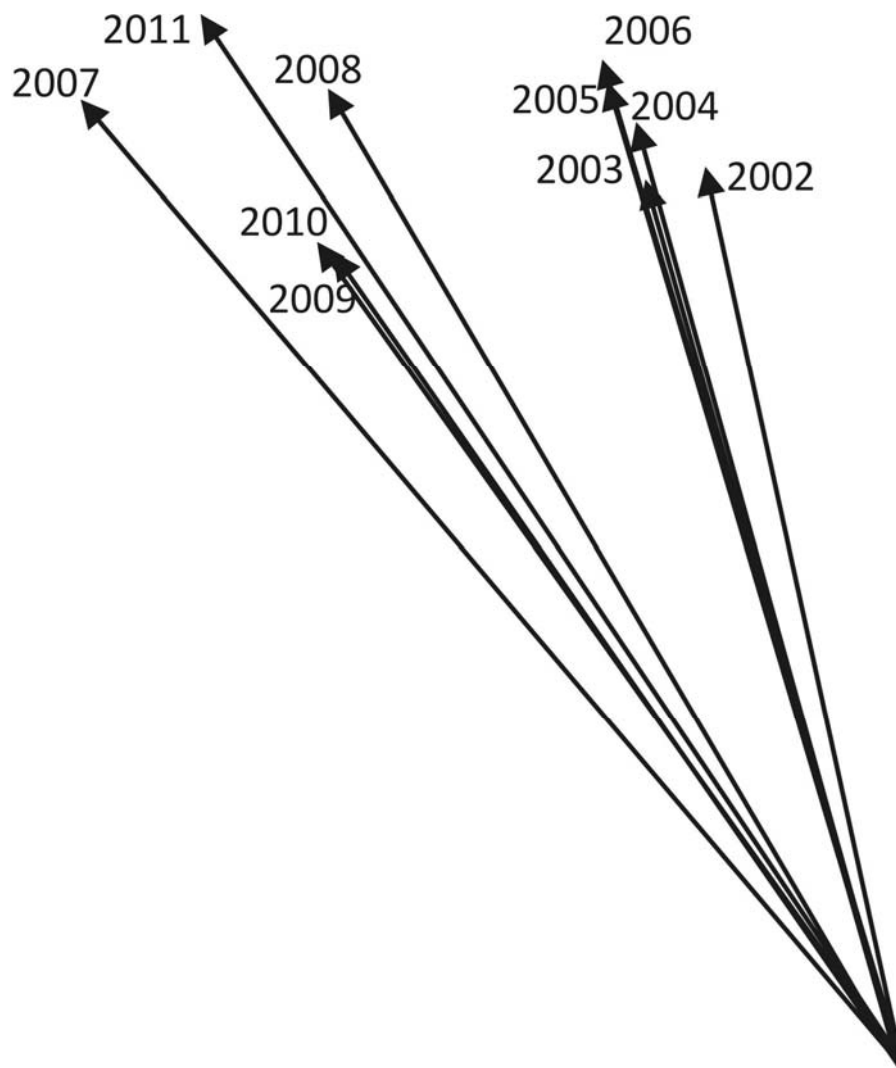


Рис. 5.13. Геометричне зведення векторів продажу програмних засобів і апаратного забезпечення в Україні за період з 2002 по 2011 роки

Спостерігаючи за місцем розташуванням вектора на досить значному відтинку часу дослідження (рис. 5.14) маємо, що за мірою зрілості інформаційних технологій системоутворююча роль ринку ІТ-послуг, так і його кожного сегменту, є все більш відчутною для України. Зазначене пояснює тим, що ефективне використання ІТ збільшує рівень конкурентноздатності будь-якого підприємства. Саме тому при високому рівні розвитку інформаційних технологій ринок ІТ-послуг є одним із найбільших із сегментів ІТ-ринку.

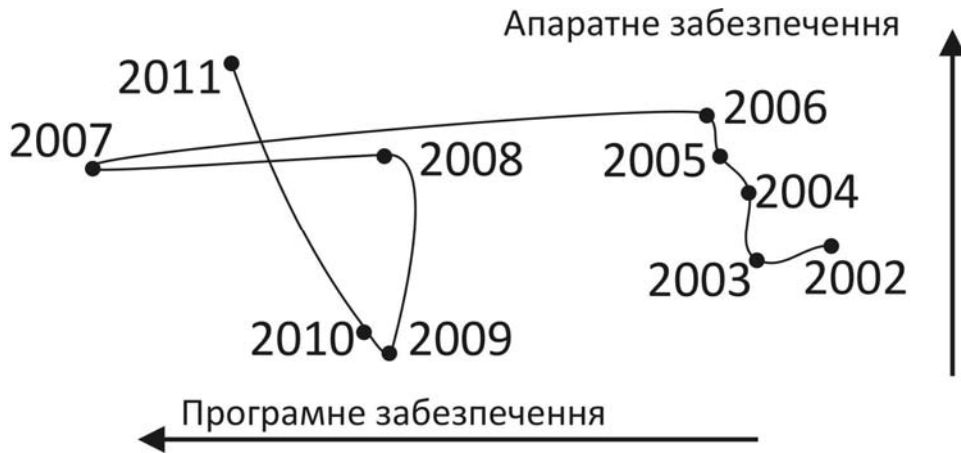


Рис. 5.14. Траєкторія зміни співвідношення складових апаратного та програмного забезпечення за 10 років (2002 – 2011 рр.)

Траєкторія руху вектора на рис. 5.14 надає можливість визначити декілька закономірностей. Так, обсяги надходжень від реалізації програмного забезпечення після кризи «dotcom'ів» дещо зросли (після 2002 року), проте реалізація програмного забезпечення знизилася. Хоча можливе й зниження ціни при подібних обсягах реалізації (2002 – 2003 роки). Починаючи з 2003 року по 2006 рік значно зростали обсяги реалізації апаратного забезпечення при незначному рівні зростання обсягів програмного забезпечення. Проте даний ринок являється стабільним і зростає помірними темпами. Особливо це помітно починаючи з 2008 року, сфера ІТ-послуг за динамікою значно переважає продаж апаратного та програмного забезпечення. Але і в 2009 році в ІТ-послугах, як бачимо з моделі, відчувався спад, який пов'язаний з різким обмеженням ІТ-витрат підприємств у період глобальної економічної кризи, очевидно, вповільнився перш за все найбільше і найшвидше зростаючий сегмент ринку. За даний період (2002 – 2011 рр.) ринок «програмного забезпечення» розвивається швидше сегменту «апаратних послуг».

З рис. 5.14 слідує узагальнена тенденція, яка буде відображати поступове збільшення обсягів надходжень від програмного забезпечення та зростання відносної частки програмного та апаратного забезпечення.

Векторний аналіз надає можливість визначити, що в період з 2006 по 2007 рік спостерігалась найбільша тенденція продажу апаратних та програмних рішень ІТ, тоді як в період з 2003 по 2006 роки, відбувалося невелике поступове збільшення обсягів продажу, так як результуючі вектори поступово змінюють свій нахил, а також довжину. Але в 2009 році спостерігається значний спад, особливо в апаратному забезпеченні, здебільшого це зумовлено світовою економічною кризою.

Розглядаючи послуги інформаційних технологій та телекомунікації, слід відмітити їх взаємопроникнення. Послугами є інтернет, електронна пошта, дистанційне управління промисловим обладнанням, “розумним будинком”, іншими об’єктами. До телекомунікацій належать телефонний зв’язок, передача мультимедіа повідомлень тощо. Базове обладнання у першому та другому випадку принципово не відрізняється. Різниця полягає у джерелах інформації, методах отримання та обробки, способах передачі інформації, сфери використання. Таким чином є підґрунтя для об’єднання низки сегментів у дві основні групи з явно вираженою взаємозалежністю і, отже, з перспективою переходу на більш високий рівень свого розвитку – інтелектуальні інформаційні системи [48, с. 373].

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Приведіть складові тривимірної моделі використання складових інформаційно-комунікаційних технологій в інших сферах діяльності
2. Наведіть варіанти реалізації моделі використання складових інформаційно-комунікаційних технологій в інших сферах діяльності
3. Приведіть переваги та недоліки тривимірної моделі використання складових інформаційно-комунікаційних технологій в інших сферах діяльності
4. Надайте характеристику домірної моделі поєднання складових інформаційно-комунікаційних технологій

5.5 Підхід до динамічного моделювання сталого розвитку

Використання концепції сталого розвитку передбачає оптимальне використання обмежених ресурсів Землі, гармонійне об'єднання економічної, соціальної, екологічної та інституційної складових. Саме ці положення сприяють раціональному використанню всіх доступних людству ресурсів таким чином, щоб майбутні покоління мали можливість зберегти нормальний рівень споживання та якості життя. Концепція сталого розвитку передбачає як статичне, так і динамічне визначення основних індексів та індикаторів, що характеризують її основні складові. Статичне представлення (на певну дату) надає можливість оцінювати стан того чи іншого об'єкту за певний період часу. Як правило, цей період становить один календарний рік. Динамічне представлення сприяє визначенню певних закономірностей протягом значних відтинків часу.

Системні досліджень з проблематики сталого розвитку розпочалися близько півстоліття тому і підтримані на самітах ООН за участю понад 180 країн і окремих міжнародних організацій у Ріо-де-Жанейро (1992 рік) і в Йоганнесбурзі (2002 рік). У 2012 році на Ріо+20 (двадцять років, як минув саміт в Ріо-де-Жанейро) прийнята Резолюція 66/288 – «Майбутнє, якого ми хочемо» (Генеральної Асамблеї ООН) [45].

Методологія розрахунку показників сталого розвитку, в тому числі економічного виміру, представлена в роботі [46, с. 9 – 15]. Розвиток цієї методології увійшов до метрики для вимірювання індексів та індикаторів сталого розвитку в роботі [47, с. 10 – 12]. Існуючі наукові розробки методології сталого розвитку в основному розглядають статику процесу, акцентуючи увагу на аналізі отриманих результуючих значень, що характеризують певний рівень розвитку об'єкту на певний момент. Порівнюючи їх між собою в шкалі деякого рейтингу, рейтингової оцінки, надається можливість аналізувати якусь тенденцію.

У нашому випадку під поняттям «стійкість» розвитку певного об'єкту розуміються такі незначні зміни деякого його параметра в часі, щоб значення цього параметра приймали в кожному наступному періоді такі величини, які відповідали б концепції сталого розвитку. Наприклад, темпи зростання не вище і не нижче якогось порогових значень, або абсолютне значення показника не має перевищувати порогове на певному проміжку часу. Можливі й інші варіанти стійкості системи.

На рис. 5.15 представлено класичний підхід до визначення рівня відхилення від тренду показників.

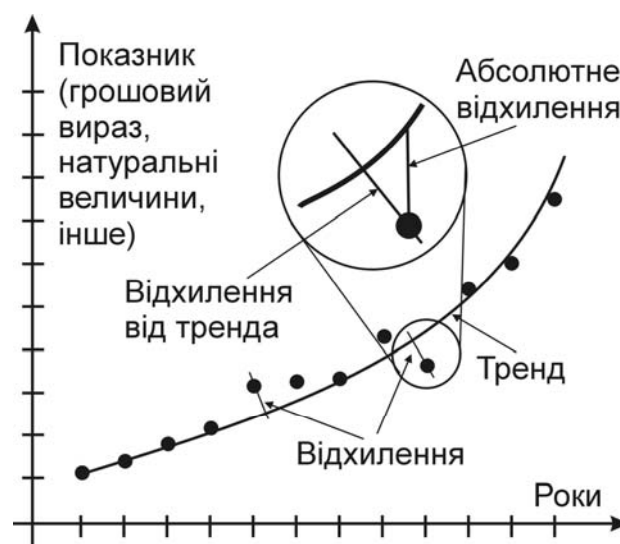


Рис. 5.15. Класичний підхід до визначення значення відхилення від тренду

Пропонується дискретні показники, які є складовими індикаторів та індексів сталого розвитку, визначати як значення деякого показника за певний рік, порівнювати його з трендом, який є безперервною функцією. Різниця визначається, як найкоротша відстань між точкою показника і лінією тренда.

Тренд являє собою якусь усереднену лінію зміни показника, що визначає стійкість розвитку, а відхилення у більшу або в меншу сторону від цієї лінії являють собою якусь величину «нестійкості». На підставі цього

припущення приймаємо відстань від тренда до точки значення показника рівнем стійкості. А приймаючи тренд орієнтиром стійкості, припускаємо його стабільним у часі (див. рис. 5.16) і всі відхилення вимірюються від цієї прямої лінії як різниця значень показника та рівня лінії.

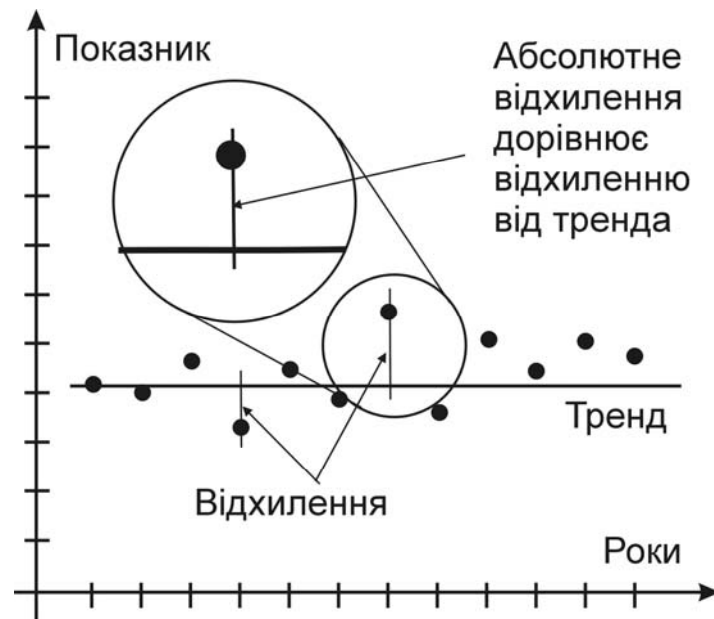


Рис. 5.16. Приведення ряду показників до стабільного у часі тренду

Відповідно, відхилення можуть приймати різні значення, як знаходитися вище лінії тренда, так і нижче неї. Зазначимо, що тренд є орієнтиром стійкості і чим ближче до нього буде значення показника, тим більш стійке положення об'єкт має у цей період. Аналіз цих відхилень дозволяє ввести поняття «зони стійкості» (рис. 5.12). Визначення положення цієї зони є складним завданням, що пов'язано з математичним обґрунтуванням рівня цієї стійкості.

Так, на рис. 5.17 представлено, як приклад, зона стійкості, яка визначається наступним чином. На досліджуваному періоді визначаємо максимальне та мінімальне значення. Далі визначаємо зону стійкості як значення від 50 % лінії мінімального значення до лінії стійкості та до 50 % максимального значення до лінії стійкості.

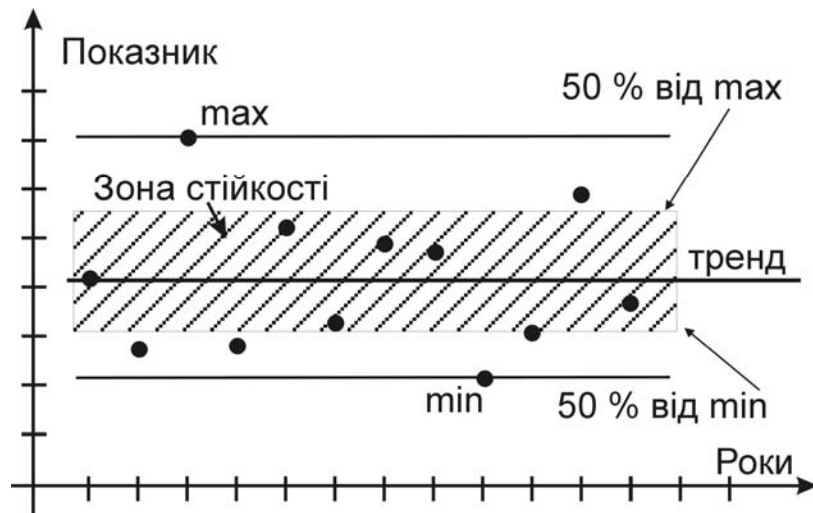


Рис. 5.17. Визначення зони стійкості на основі половинної зони

Таким чином, визначаючи стійкість, отримуємо розподіл точок у зоні стійкості і поза цією зоною стійкості. При цьому можемо, як варіант, отримати як знаходження $n-2$ точки в зоні стійкості (крім точок максимуму та мінімуму), так і відсутність точок у цій зоні стійкості. Тобто всі точки виходять за середні лінії: половина від максимуму та половина від мінімуму. Зазначене вище може означати значний рівень нестійкості системи. Але при цьому можливі варіанти, що тільки одна точка значно «відстає» від інших, а інші практично мають близькі значення показника. Тоді рівень динамічної стійкості досить високий за винятком лише одного значення показника. При попаданні $n-2$ точки в зону стійкості можна припустити, що тільки два значення мають «винятки», а інші періоди досить стійкі. Наведені обґрунтування показують як позитивні, так і негативні сторони запропонованого підходу до аналізу рівня стійкості.

Для зменшення впливу зазначених недоліків пропонується застосовувати при вимірюванні рівня стійкості якийсь «науково обґрунтований рівень стійкості». На рис. 5.18 представлено два варіанти такого підходу.



Рис. 5.18. Варіанти науково обґрунтованих зон стійкості

Варіант 1 передбачає більш широку зону стійкості: розкид значення параметра досить широкий. Для варіанта 2 ця зона більш вузька, значення параметрів незначно розходяться від середньої лінії і кількість викидів потрібно вважати як нестійкість стану. Узагальнюючи зазначимо, що вибирати зону стійкості слід застосовуючи певні логічні обґрунтування. Так, наприклад, зону стійкості можна визначити як зону, в яку потрапляють, наприклад, половина значень або квадратний корінь значень із двох, або ще яким або методом. Також можна застосувати деякі прийоми статистики. Основою такого підходу є те, що наукове обґрунтування має бути адекватним поставленим цілям.

Переходячи до визначення зони запланованої стійкості, розробляється якийсь тренд, шлях якого визначає найбільш оптимальні значення для майбутніх значень показника. Саме такі значення експертами вважаються найбільш оптимальними з точки зору раціонального користування ресурсами. При цьому на основі вище наведених методів передбачається визначити і межі припустимих відхилень показника. На рис. 5.19 умовно показано ці границі. Особливістю запропонованого підходу є звуження зони планованої стійкості у віддаленому майбутньому.

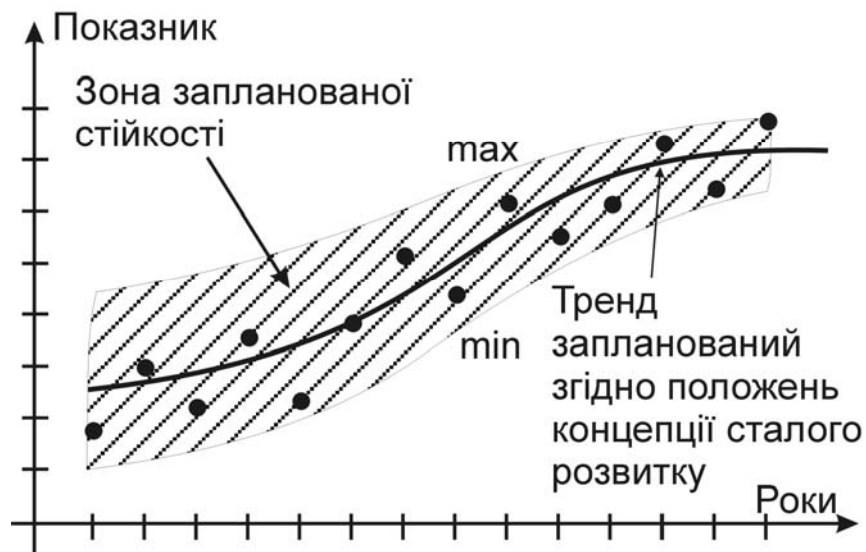


Рис. 5.19. Підхід до формування зони стійкості у майбутньому періоді з використанням положень концепції сталого розвитку

На рис. 5.20 узагальнені вищевказані положення, ґрунтуючись саме на положеннях концепції сталого розвитку.

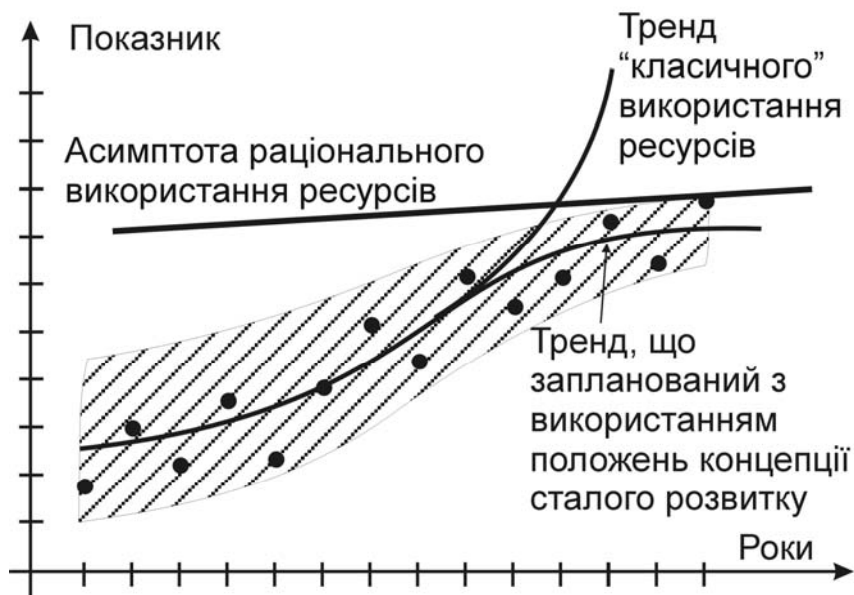


Рис. 5.20. Використання ресурсного підходу та положень концепції сталого розвитку при плануванні границь зміни показників у майбутньому періоді

Плановані показники потрапляють у зону стійкості, яка звужується. Ті ж показники передбачається обмежити асимптотою раціонального використання ресурсів, з метою виключення необмеженого зростання значень функції при класичному використанні ресурсів.

Отже, оцінювання стійкості значення показників у динаміці для тривалих періодів часу з дискретністю один рік є актуальним для процесів забезпечення сталого розвитку систем різного роду, у тому числі й енергетичних. Зазначене пов'язане із забезпеченням оптимального використання обмежених ресурсів людства і гармонійного об'єднання економічної, соціальної, екологічної та інституційної складових.

Запропонований концептуальний підхід до формування та визначення зони стійкості в динаміці того чи іншого показника надає можливість аналізувати процеси розвитку соціально-економічної системи, а розробка заходів, які дозволять підтримувати рівень показника в зоні стійкості тривалий час, забезпечать виконання положень концепції сталого розвитку на довгостроковий період.

Запитання та завдання для самоконтролю

1. Охарактеризуйте основні положення концепції сталого розвитку
2. Розкрийте сутність тренда для визначення динамічних характеристик системи
3. Поясніть природу відхилень показників від тренда в соціально-економічних системах.
4. Надайте декілька прикладів визначення зони стійкості у динамічних системах
5. Запропонуйте заплановані обмеження при формуванні зони стійкості у майбутніх періодах

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Альгин А. П. Риск и его роль в общественной жизни / А. П. Альгин. — М. : Мысль, 1989. — 187 с.
2. Булько И. Р. Экономический риск (методы анализа, оценки и ограничения) / И. Р. Булько. — Донецк: ИЭП НАН Украины, 1996. — 331 с.
3. Ризик-менеджмент суб'єктів енергетичного ринку як складова механізму забезпечення енергетичної безпеки : монографія / Н. В. Караєва, І. І. Гусева, В. О. Бараннік, А. О. Савицька. — К.: Софія-А, 2012. — 256 с.
4. Моделювання впливу інтеграційних рішень в енергетиці на передумови досягнення сталого розвитку території : монографія / І. І. Гусева, В. В. Дергачева, Н. В. Караєва та ін; за заг. ред. Н. В. Караєвої. — Черкаси: видавець Чабаненко Ю. А., 2010. — 364 с.
5. Исследование «Эрнст энд Янг» в области бизнес-рисков, 2009. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.eycom.ch/publications/items/realestate/2009_real_estate_br_report/.
6. Global Risks 2008. A Global Risks Network Report. World Economic Forum. January 2008. — 55 p.
7. Гранатуров В. М. Аналіз підприємницьких ризиків: проблеми визначення класифікації та кількісної оцінки : монографія / В. М. Гранатуров, І. В. Литовченко, С. К. Харічков; за наук. ред. В. М. Гранатурова. — Одеса: Інститут проблем ринку та економіко-екологічних досліджень НАН України, 2003. — 164 с.
8. Устенко О. Л. Теория экономического риска : монография / О. Л. Устенко. — К.: МАУП, 1997. — 164 с.
9. Математические методы анализа экономических систем. В 2-х книгах, Книга 1 / Ф. Б. Рогальский, Я. Е. Курилович, А. А. Цокурено. — К.: Наукова думка, 2001. — 436 с.
10. Бачкаи Т. Хозяйственный риск и методы его измерения / Т. Бачкаи, Д. Месена и др. — М.: Экономика, 1979. — 184 с.

11. Ризик-менеджмент суб'єктів енергетичного ринку як складова механізму забезпечення енергетичної безпеки : монографія / Н. В. Караєва, І. І. Гусєва, В. О. Бараннік, А. О. Савицька. — К.: Софія-А, 2012. — 256 с.
12. Папкина М. Д. Риски субъектов электроэнергетического рынка / М. Д. Папкина, Б. В. Папков. — Н. Новгород: НГАСУ, 2007. — 77 с.
13. Энциклопедия финансового риск-менеджмента / Под. ред. А. А. Лобанова и А. В. Чугунова. — М.: Альпина Паблишер, 2003. — 786 с.
14. ISDA credit derivatives definitions 1999. International Swap and Derivatives Association, 1999, July
15. Лещинський О. Л. Економічний ризик та методи його вимірювання : навч. посібник для студ. вищих навч. закладів. / О. Л. Лещинський, О. В. Школьнік. — К.: Дельта, 2005. — 112 с.
16. Евланов Д. Г. Основы теории принятия решений / Д. Г. Евланов. — М.: Наука, 1979. — 340 с.
17. Азарова А. О. Математичні моделі та методи оцінювання фінансового стану підприємства / А. О. Азарова, О. В. Рузакова. — Вінниця: ВНТУ, 2010. — 172 с.
18. Балацкий О. Ф. Экономика чистого воздуха / О. Ф. Балацкий. — К.: Наукова думка, 1979. — 293 с.
19. Гофман К. Г. Экономический механизм природопользования в условиях перехода к рыночной экономике / К. Г. Гофман. — М.: Мысль, 1991. — 231 с.
20. Методи оцінки екологічних втрат : монографія / За ред. Л. Г. Мельника та О. І. Корінцевої. — Суми: ВТД «Університетська книга», 2004. — 288 с.
21. Кислый В. Н. Экологизация управления предприятием : монография / В. Н. Кислый, Е. В. Лапин, Н. А. Трофименко. — Сумы: ВТД «Университетская книга», 2002. — 232 с.
22. Пахомова Н. В. Экологический менеджмент / Н. В. Пахомова, А. Эндрес, К. Рихтер. — СПб.: Питер, 2003. — 544 с.
23. Pigou A. C. The Economics of Welfare / A. C. Pigou. — New York, 1920. — 137 p.

24. Методика оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру – Постанова Кабінету Міністрів України від 15 лютого 2002 р. № 175, зі змінами і доповненнями, згідно Постанови Кабінету Міністрів України від 04 червня 2003 р. № 862.
25. Моделювання впливу інтеграційних рішень в енергетиці на передумови досягнення сталого розвитку території : монографія / [І. І. Гусева, В. В. Дергачова, Н. В. Караєва та ін.] ; за заг.ред. Н. В. Караєвої. — Черкаси: Видавець Чабаненко Ю. А., 2010. — 346 с.
26. Сталий розвиток: еколого-економічна оптимізація територіально-виробничих систем: навчальний посібник / [Н. В. Караєва, Р. В. Корпан, Т. А. Коцко та ін.] ; за заг. ред. І. В. Недіна. — Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. — 384 с.
27. Кононюк А. Ю. Нейронні мережі і генетичні алгоритми / А. Ю. Кононюк. — К.: Корнійчук, 2008. — 446 с.
28. Ситник В. Ф. Інтелектуальний аналіз даних (дейтамайнінг) : навч. посіб. / В. Ф. Ситник, М. Т. Краснюк. — К.: КНЕУ, 2007. — 376 с.
29. Матвійчук А. В. Штучний інтелект в економіці: нейронні мережі, нечітка логіка : монографія / А. В. Матвійчук. — К.: КНЕУ, 2011. — 439 с.
30. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. — М.: Горячая линия – Телеком, 2007. — 288 с.
31. Демидова Л. А. Алгоритмы и системы нечеткого вывода при решении задач диагностики городских инженерных коммуникаций в среде MATLAB / Л. А. Демидова, В. В. Кираковский, А. Н. Пылькин. — М.: Радио и связь, Горячая линия – Телеком, 2005. — 365 с.
32. Недосекин А. О. Методологические основы моделирования финансовой деятельности с использованием нечетко-множественных описаний : [дис... на соискание уч. степени докт. экон. наук : спец. 08.00.13 "Математические и инструментальные методы экономики"] / А. О. Недосекин. — СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет экономики и финансов, 2003. — 280 с.
33. Сорокіна Л. В. Застосування інструментарію теорії нечітких множин для діагностики функціонування системи менеджменту будівельних

- підприємств / Л. В. Сорокіна // Фінансова система України : [Наукові записки Національного університету «Острозька академія»]. — Серія : Економіка. — Вип. 14. — Острог: Видавництво "Національний університет "Острозька академія", 2010. — С. 471 – 481.
34. Оцінка нерухомого майна : Національний стандарт оцінки 2, затверджений постановою Кабінету Міністрів України № 1442 від 28 жовтня 2004 р. / Кабінет Міністрів України // Офіційний вісник України : [офіц. вид.]. — 19.11.2004. — № 44. — С. 31.
35. Сорокіна Л. В. Моделі і технології управління ринковою вартістю будівельних підприємств / Л. В. Сорокіна. — К.: Лазурит-поліграф, 2011. — 541 с.
36. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы : [Текст] / Д. Рутковская, М. Пилинський, Л. Рутковский ; [пер. с польск. И. Д. Рудинского]. — М.: Горячая линия – Телеком, 2007. — 452 с.
37. Статистичний щорічник України за 2010 рік / за ред. О. Г. Осауленка. — К.: Консультант, 2011. — 560 с.
38. Nauck D. Foundations of NeuroFuzzy Systems / D. Nauck, F. Klawonn, R. Kruse // John Wiley & Sons. — 1997. — 305 p.
39. Войтко С. В. Інформаційні технології: ефективність функціонування та економічна безпека підприємства / С. В. Войтко // Правове, нормативне та методологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. — К.: ЕКМО, 2003. — № 7. — С. 39 – 44.
40. Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні : закон України : від 8 вересня 2011 року за № 3715-VI / Верховна Рада України. — Офіц. вид. — К.: Парламент. вид-во, 2003. — 93 с.
41. Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки : закон України (із змінами, внесеними згідно із Законом № 3421-IV (3421-15) від 09.02.2006 / Відомості Верховної Ради, 2006. — № 22. — 199 с.
42. Методичні рекомендації прогнозування інноваційної діяльності в промисловості / М. Т. Пашута [та ін.] ; заг. ред. М. Т. Пашута. — К.: Науковий світ, 2006. — 73 с.

43. Ліпич Л. Г. Прогнозування виробництва на засадах визначення обсягів попиту на продукцію підприємств : монографія / Л. Г. Ліпич, В. Л. Загоруйко // – Луцьк: Волин. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2008. – 192 с.
44. Войтко С. В. Тривимірна модель визначення частки складових інформаційно-комунікаційних технологій в об'єкті / С. В. Войтко // Маркетинг: теорія і практика : зб. наук. праць Східно-укр. держ. ун-тету ім. Володимира Даля, 2006. – С. 39 – 45.
45. Будущее, которого мы хотим / Резолюция 66/288. Генеральной Ассамблеи ООН // [Электронный ресурс] документ A/RES/66/288, 11.09.2012г. – 68 с. – Режим доступа: <http://daccess-ods.un.org/TMP/3352657.85455704.html>
46. Згуровський М. З. Сталий розвиток у глобальному і регіональному вимірах: аналіз за даними 2005 р. / М. З. Згуровський – К. : НТУУ «КПІ» ВПІ ВПК «Політехніка», 2006. – 84 с.
47. Аналіз сталого розвитку – глобальний і регіональний контексти : У 2 ч. / Викон.: А. О. Болдак, С. В. Войтко, О. А. Гавриш, І. М. Джигирей та інші : наук. кер. М. З. Згуровський. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – Ч. 2. Україна в індикаторах сталого розвитку. Аналіз – 2012. – 264 с.
48. Войтко С. В. Електронні системи управління технологічними процесами: цифрова чи аналогова схема / С. В. Войтко // Сіверянський літопис. – Чернігів: Деснянська правда, 2002. – № 3 (45). – С. 162 – 163.

Навчальний посібник

Н. В. Караєва, С. В. Войтко, Л. В. Сорокіна

**Ризик-менеджмент
сталого розвитку енергетики:
інформаційна підтримка
прийняття рішень**

Видано у авторській редакції

Підп. до друку 08.04.12. Формат 60x84/16.
Папір офсет. №1. Гарнітура Calibri.

Друк цифр. Ум. друк. арк. 19,2
Тираж 300 пр. Зам. № 0804/АР

Видавництво ТОВ «Альфа Реклама»
Україна, м. Київ, вул. Червоноармійська, 139

Тел.: (044) 529-06-14,
(096) 218-99-63
www.izdat-knigu.com

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК №3421 від 11.03.2009

**Надруковано СПД-ФО Рудник В. А. Україна, м. Київ, вул.
Червоноармійська, 139**



Караєва Наталія Веніамінівна,

кандидат економічних наук, доцент кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів та систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Фахівець з питань економіки енергетики, сталого розвитку, ризик-менеджменту, економіки природо-користування. Керівник науково-дослідних проєктів, автор понад 100 наукових публікацій у вітчизняних і зарубіжних виданнях, у тому числі 22 колективних монографій, 1 навчального посібника (у спів-авторстві).

Войтко Сергій Васильович,

доктор економічних наук, професор кафедри міжнародної економіки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Сферами наукових інтересів є економіка та управління наукомісткими підприємствами, економічний вимір сталого розвитку, економіко-математичне моделювання. Автор 7 монографій, одна з них одноосібна, співавтор 4 навчальних посібників, один з них видано в Болгарії, 1 підручник (у співавторстві). Наукові доробки опубліковані в 55 статтях у фахових виданнях.



Сорокіна Леся Вікторівна,

доктор економічних наук, професор кафедри економіки будівництва Київського національного університету будівництва і архітектури. Сфера наукових інтересів: економіко-математичне моделювання економічних процесів макро- і мікрорівня, системи штучного інтелекту в управлінні економічними системами. У рамках тематики досліджень опубліковано понад 50 наукових праць.

ISBN 978-966-2477-98-6



9 789662 477986 >